

# Grupo electrógeno autopropulsado de 5kVA, para Trabajos de mantenimiento

## Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:  
**David Alfonso Gómez Rodríguez**

Dirigido por:  
**Ricard Bosch Tous**

Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, 10 de marzo de 2017

Departamento de Ciencia e ingenierías Náuticas



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Facultat de Nàutica de Barcelona







---

# Agradecimientos

Agradecer, en primera instancia, a mi familia por el soporte proporcionado no solo durante la realización de este trabajo en general, siendo siempre un gran apoyo en todo lo que me he propuesto realizar en la vida hasta el día de hoy.

Agradecer también al tutor de este proyecto, Ricard Bosch Tous, toda la ayuda, predisposición y apoyo durante todo el transcurso de este Trabajo final de grado. Guiándome durante todo este proyecto y aportando siempre nuevas ideas a aplicar al mismo.

Agradecer también a todos los docentes y personas relacionadas a la enseñanza que me han formado durante todos estos años y, que en una gran parte han hecho posible con los conocimientos que me han aportado durante todos estos años, que haya podido realizar este trabajo de final de grado.



---

# Resumen

Este proyecto abarca el proceso de diseño y construcción de un grupo electrógeno autopropulsado, dirigido por control remoto con el fin de apoyar en tareas de mantenimiento y de arrastre de objetos. El vehículo se realiza en su mayor parte con materiales de bajo coste y reutilizados.

Este documento contiene todas las fases del proceso, desde los diseños e ideas iniciales, hasta las pruebas realizadas con el vehículo finalmente construido.

Inicialmente se presentan unos requisitos de funcionamiento para poder realizar extracciones de embarcaciones del agua. Estos requisitos deben reducirse al ser la complejidad técnica y el tiempo a invertir muy elevados, por lo que los requisitos iniciales son adaptados a otros asumibles con menos dificultad, que implican únicamente arrastrar objetos y realizar tareas de apoyo en operaciones de mantenimiento.

Finalmente, en la fase de pruebas, una vez el vehículo ha sido construido, es donde por primera vez se comprueban los resultados de todo el trabajo realizado hasta la finalización de la construcción del vehículo y, se comprueba el correcto comportamiento de los distintos elementos que conforman el vehículo

# Abstract

This document covers the process of design and construction of a self-propelled generator, commanded by remote control in order to give support on maintenance operations and trawling objects. The vehicle has been made of reused material and low cost materials.

The document contains all the stages of the process, from the initial designs and ideas to the final test done over the final vehicle.

Initially, some requirements were submitted in order to construct a vehicle for extract boats from the water. This requirements was reduced when the technical complexity and the time to invest to construct the vehicle were too high. Because of that, the requirements were reduced and adapted to a more affordable requirements. The requirements only involved trawling some objects and provide support on maintenance operations.

Finally, in the tests done over the final vehicle constructed, for the first time all the results of the construction until the final vehicle was ready were tested. In this test, it was checked that the different elements that composed the vehicle works properly.



---

# Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII
LISTADO DE FIGURAS	X
LISTADO DE TABLAS	XII
 <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	 <b>1</b>
1.1 MOTIVACIÓN	2
1.2 OBJETO	2
1.3 OBJETIVO	2
4. ALCANCE	3
 <b>CAPÍTULO 2. GENERADOR</b>	 <b>4</b>
2.1 MOTOR	5
2.2 ALTERNADOR	6
2.3 ESTRUCTURA	7
 <b>CAPÍTULO 3. MOTORIZACIÓN</b>	 <b>9</b>
3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR ASÍNCRONO.	9
3.2 MOTORES ELÉCTRICOS	10
3.3 REDUCTORES	12
3.4 CÁLCULO EFICIENCIA DE LOS REDUCTORES.	12
 <b>CAPÍTULO 4. CONTROLES Y PROTECCIONES</b>	 <b>14</b>
4.1 CONTROLES Y PROTECCIONES.	14
4.2 SISTEMA DE CONTROL DEL VEHÍCULO.	14
4.3 CONTROLADORES DE ARRANQUE.	16
4.4 MANDOS DEL VEHÍCULO.	18
4.5 PROTECCIONES	19
4.6 FUNCIONAMIENTO	21

<b>CAPÍTULO 5. PROCESO DE DISEÑO DEL VEHÍCULO</b>	<b>22</b>
5.1 PRIMER DISEÑO	22
5.2 SEGUNDO DISEÑO	23
5.3 TERCER Y ÚLTIMO DISEÑO	23
<b>CAPÍTULO 6. MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN</b>	<b>26</b>
6.1 MATERIALES UTILIZADOS	26
6.2 CONSTRUCCIÓN	26
6.2.1 MODIFICACIÓN DE LA CAJA DE BORNES DE LOS MOTORES	26
6.2.2 CONSTRUCCIÓN EJES	27
6.2.3 ESTRUCTURA MOTORES	28
6.2.4 CONSTRUCCIÓN MANDO DE CONTROL	32
6.2.5 CONSTRUCCIÓN CAJA DE LOS CONTROLADORES DE ARRANQUE Y CABLEADO	34
6.2.6 CABLEADO DEL CONJUNTO	35
<b>CAPÍTULO 7. ENSAYOS</b>	<b>38</b>
7.1 PRIMER ENSAYO	38
7.2 SEGUNDO ENSAYO	40
7.3 TERCER ENSAYO	40
7.4 CUARTO ENSAYO	42
7.5 QUINTO ENSAYO	43
7.5.1 MÁXIMA FUERZA DE ARRASTRE	43
7.5.2 PRUEBA DE ARRASTRE SEAT 600 ELÉCTRICO	45
<b>CAPÍTULO 8. MODIFICACIONES</b>	<b>46</b>
8.1 AMPLIACIÓN CAJAS DE BORNES Y PLACAS DE BORNES PARA LA ALIMENTACIÓN DE LOS FRENOS DE LOS MOTORES	46
8.2 MODIFICACIÓN DE LA POSICIÓN DEL MOTOR DERECHO	47
8.3 CAMBIO DE TIPO DE CONEXIÓN DEL GENERADOR Y LOS MOTORES	48
8.4 PROTECCIÓN CONTROLADORES DE ARRANQUE	50
<b>CAPÍTULO 9. FUTURAS LÍNEAS DESARROLLO.</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO 10. VEHÍCULO CONSTRUIDO.</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 11. ERRORES</b>	<b>55</b>

---

<b>CAPÍTULO 12. CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>57</b>
1. WEBS:	57
2. LIBROS:	57
3. TRABAJOS ACADÉMICOS:	57
<b>ANEXOS.</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO 1. GUÍA RÁPIDA DE ARRANQUE DEL VEHÍCULO</b>	<b>59</b>

# Listado de Figuras

Figura 1. Curva par – velocidad motor térmico generador	Pag. 5
Figura 2. Esquema de cableado del alternador	Pag. 6
Figura 3. Puntos de soporte y anclaje	Pag. 7
Figura 4. Medidas motor eléctrico	Pag. 10
Figura 5. Posición final de las cajas de las placas de bornes	Pag. 11
Figura 6. Ruedas tipo jockey utilizadas	Pag. 15
Figura 7. Conmutador de mando	Pag. 18
Figura 8. Conmutador de alimentación	Pag. 18
Figura 9. Pruebas ergonomía conmutadores mando	Pag. 19
Figura 10. Interruptor magnetotérmico de 4 polos conectado en serie	Pag. 20
Figura 11. Interruptor magnetotérmico unipolar AEG	Pag. 20
Figura 12. Eje construido	Pag. 24
Figura 13. Imagen vehículo terminado	Pag. 24
Figura 14. Modificación caja placa de bornes motor	Pag. 27
Figura 15. Planos ejes	Pag. 27
Figura 16. Interferencia radios rueda	Pag. 28
Figura 17. Rueda acoplada al eje	Pag. 28
Figura 18. Construcción unión motores propulsores	Pag. 29
Figura 19. Alineación motores	Pag. 30
Figura 20. Estructura soldada	Pag. 31
Figura 21. Creación soporte generador	Pag. 31
Figura 22. Estructura finalizada	Pag. 32
Figura 23. Fijación posición conmutadores de mando	Pag. 33
Figura 24. Interior mando vehículo	Pag. 33
Figura 25. Caja controladores de arranque	Pag. 34
Figura 26. Imanes de sujeción	Pag. 35
Figura 27. Pieza de plástico fabricada	Pag. 35
Figura 28. Conmutador de alimentación finalizado	Pag. 35
Figura 29. Esquema eléctrico	Pag. 36

---

Figura 30. Soldadura cableado conmutadores	Pag. 37
Figura 31. Primer ensayo	Pag. 38
Figura 32. Prueba de arrastre SEAT 600 eléctrico	Pag. 43
Figura 33. Marcas ruedas	Pag. 45
Figura 34. Modificación chapa placa de bornes	Pag. 46
Figura 35. Modificación bornes	Pag. 47
Figura 36. Problema motor derecho	Pag. 47
Figura 37. Separador Rueda	Pag. 48
Figura 38. Cambio conexión motor	Pag. 48
Figura 39. Fase cortocircuitada	Pag. 49
Figura 40. Vista de referencia vehículo	Pag. 52
Figura 41. Vista lateral derecha del vehículo	Pag. 53
Figura 42. Vista lateral izquierda del vehículo	Pag. 53
Figura 43. Vista Trasera del vehículo	Pag. 54

# Listado de Tablas

Tabla 1. Características del motor del generador	Pag. 5
Tabla 2. Características del alternador del generador	Pag. 6
Tabla 3. Características de los motores eléctricos	Pag. 10
Tabla 4. Características de los reductores	Pag. 12
Tabla 5. Características de los controladores de arranque (I)	Pag. 16
Tabla 6. Características de los controladores de arranque (II)	Pag. 17
Tabla 7. Resultados primer ensayo (I)	Pag. 39
Tabla 8. Resultados primer ensayo (II)	Pag. 39
Tabla 9. Resultados tercer ensayo (I)	Pag. 40
Tabla 10. Resultados tercer ensayo (II)	Pag. 41
Tabla 11. Características vehículo construido	Pag. 54

# Capítulo 1. Introducción

En este proyecto de fin de grado de Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval se detalla el proceso constructivo y de diseño de un grupo electrógeno autopropulsado de 5 kVA para trabajos de mantenimiento.

Este grupo electrógeno autopropulsado de 5kVA, está propulsado por dos propulsores eléctricos alimentados por un grupo electrógeno que está instalado sobre estos. Con esto, el sistema de propulsión del vehículo es híbrido en serie, ya que el vehículo se propulsa mediante dos propulsores eléctricos alimentados por un generador.

El vehículo construido está pensado para el arrastre a baja velocidad de cargas pesadas y, pretende ser preludio de trabajos posteriores, del estilo de carros de carenero para embarcaciones eléctricas o híbridas, e incluso de vehículos anfibios con fuente de electricidad común para el sistema propulsor terrestre o acuático.

Se pretende profundizar experimentalmente en el concepto de propulsión eléctrica sin baterías, donde el grupo electrógeno suministra la energía necesaria para el régimen permanente y, para los transitorios de arranque del vehículo, a partir de la energía cinética de sus masas rodantes. Todo esto permite unos elementos de control y protección sumamente simples tecnológicamente hablando, pues quedan reducidos a simples interruptores.

Aunque se han explotado diferentes configuraciones mecánicas, el trabajo se ha centrado en la parte más eléctrica, poniendo énfasis en los controles y protecciones, simplificando al máximo la rodadura y dejando deslizar las ruedas para evitar accidentes de puesta en marcha del sistema.

Algunas soluciones constructivas han sido adoptadas después de algún fracaso de diseño, que ha comportado muchas horas de taller y trabajo, para poder ser solucionados y corregidos. Toda la experiencia de diseño, y sobre todo, la constructiva, han dejado una huella indeleble de aprendizaje respecto a lo que realmente importa de las fases mencionadas anteriormente y también, de la fase de puesta en marcha de una nueva construcción, que hasta ese momento, nunca antes ha funcionado, y quizá, nunca antes se ha realizado de esa manera.

## **1.1 Motivación**

Las motivaciones personales que han llevado a la realización de este trabajo final de grado (en adelante TFG) han sido en primer lugar, el de finalizar la carrera universitaria de grado en ingeniería en sistemas y tecnología naval.

No menos importante también es el aprovechamiento de los conocimientos adquiridos durante dicha carrera y, mediante la realización del TFG consolidar y ampliar estos, especialmente en lo que a máquinas y sistemas eléctricos se refiere.

Añadir además que, se pretendía realizar un TFG experimental, y no teórico. La elección de este TFG se ha hecho con vista a que, en un futuro próximo, cada vez se van diseñar y utilizar más sistemas de propulsión en los cuales habrá involucrada una máquina eléctrica. Con todo esto quiero decir que la realización de este TFG está relacionada con los trabajos que podré y, espero desempeñar en un futuro, una vez haya acabado el grado en ingeniería en sistemas y tecnología naval.

## **1.2 Objeto**

El objeto de este TFG es el de realizar el diseño y, la construcción de un generador autopropulsado que pueda servir de apoyo para trabajos de mantenimiento, llegando en algunos casos a poder arrastrar de embarcaciones o de un carro varadero. En adelante, nos referiremos al generador autopropulsado como vehículo. Este vehículo estará propulsado mediante un sistema de propulsores eléctricos.

La idea es que este vehículo sea capaz ser conducido por un operario de manera fácil y sencilla, que proporcione energía eléctrica allí donde se necesite y no se pueda obtener de otra forma y, de ser necesario, como soporte para introducir y sacar embarcaciones del agua y mover a estas por el dique seco. La alimentación de los Propulsores eléctricos se haría mediante la instalación de un generador sobre una estructura de unión que se construiría para mantener unidos a los dos motores o, aprovechando el propio generador de la embarcación a remolcar.

El control del aparato será manual y la velocidad máxima de este no será superior a la de una persona a paso normal con el fin de garantizar una operación del conjunto segura y confortable para el operario en primer lugar, así como también de la carga arrastrada por el vehículo

## **1.3 Objetivo**

Entre los diversos objetivos que se buscan con la realización de este trabajo se encuentra, como principal objetivo, el de la finalización de los estudios de grado en ingeniería en sistemas y tecnología naval.

Otros objetivos son el de probar un sistema de propulsión eléctrico alimentado por un generador de combustión, en este caso un generador a gasolina. Debido a que la prueba dicho sistema como sistema propulsivo en una embarcación previsiblemente sea complicado desde el punto de vista burocrático y/o legal, se ha decidido realizar esta instalación en el vehículo objeto de este TFG.

Como objetivo final está el de afianzar los conocimientos sobre electricidad estudiados durante la carrera y ampliar, en la medida de lo posible, estos conocimientos mediante la realización de este TFG.



#### **4. Alcance**

El alcance de este trabajo será el de la construcción del generador autopropulsado que, deberá ser capaz de moverse autónomamente siguiendo las órdenes del operario que lo esté manejando, realizar la función de vehículo tractor de remolques, proporcionar energía eléctrica allí donde se necesite y no haya posibilidad de suministro eléctrico por otra vía.

Una vez realizado el vehículo, se han ensayado y verificado sus prestaciones operativas, con un resultado que se considera satisfactorio.

## Capítulo 2. Generador

Cómo fuente de energía para los dos propulsores del vehículo, se ha utilizado un generador, el cual ya fue utilizado en su día por Albert Peregrina Velasco para la realización de su proyecto final de Carrera (En adelante PFC de Albert). Este grupo se encontraba en la ETSEIB y ha sido cedido para este TFG por profesor de la UPC y tutor de este TFG, Ricard Bosch Tous. Este grupo consta de un motor Honda de combustión interna de 6,6 kW y de un alternador Tekel de 8,5 kVA.

De las diversas opciones de grupos de los que se disponía para la alimentación del prototipo, se escogió el generador usado en el PFC de Albert debido a que este ya estaba contenido en una estructura propia que se podría adaptar fácilmente a la estructura que se tenía pensado construir como unión de los dos propulsores y base del vehículo. Principalmente, el trabajo de adaptación que se tendría que haber llevado a cabo con los otros grupos disponibles, en este grupo ya se había hecho anteriormente.

Otra ventaja de este grupo frente al resto, es que en su día fue modificado y se le acopló un alternador de potencia superior a la del motor que lo mueve. Con esto se consigue que el generador aguante mejor los picos de intensidad producidos en el arranque de los propulsores lo que, según el uso que se tiene previsto del vehículo, es un factor importante a tener en cuenta.

Siendo los motores que se utilizan en este TFG de una potencia de 0,37 kW cada uno, este generador es más que suficiente para alimentar a los propulsores del vehículo objeto de este TFG.

## 2.1 Motor

Como se ha mencionado anteriormente, el motor del grupo está fabricado por Honda. Concretamente se trata de un motor de explosión de 4 tiempos Honda GX270, el cual entrega una potencia máxima de 6,6 kW.

En la siguiente tabla se indican los datos característicos del motor en cuestión.

HONDA GX270	
Tipo de motor	4 tiempos, válvulas en cabeza, monocilíndrico
Medidas (Longitud x Anchura x Altura)	355 x 430 x 410 mm
Masa en seco (Peso)	25,0 kg
Cilindrada	270 cm <sup>3</sup>
Diámetro x Carrera	77,0 x 58,0 mm
Relación de compresión	8,5:1
Potencia neta (Según SAE J1349)	6,6 kW a 3600 rpm
Par motor neto max. (Según SAE J1349)	19,1 N·m a 2500 rpm
Capacidad de aceite del motor	1,1 l
Capacidad del depósito de combustible	6 l
Consumo de combustible	2,4 L/H a 3600 rpm
Sistema de enfriamiento	Aire Forzado
Sistema de encendido	Magneto transistorizado
Motor de arranque	Tirador de arranque
Rotación del eje de la toma de fuerza	Hacia la izquierda

Tabla 1. Características del motor del generador

Añadir que la potencia máxima de 6,6 kW a 3600 rpm, pertenecen a la potencia intermitente, que no puede entregar de forma continua. Además, estas 3600 rpm se corresponderían con una frecuencia superior a los 50 Hz normalizados en Europa. La potencia entregada a un régimen de 3000 rpm del motor es ligeramente inferior a los 6 kW.

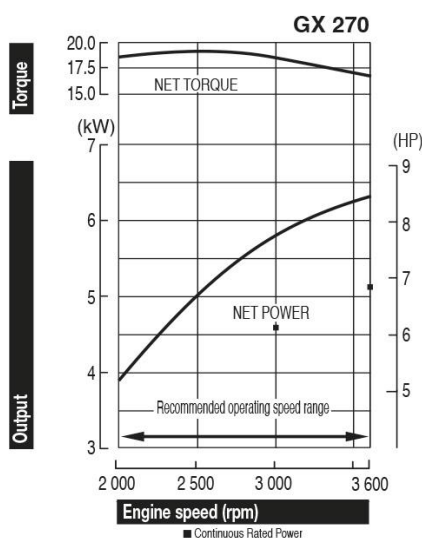


Figura 1. Curva par – velocidad motor térmico generador

Debido a la sencillez del motor, la alimentación de combustible se realiza mediante el uso de un carburador.

El propio motor además dispone de una palanca que nos permite la regulación de la velocidad de giro del motor y, por tanto, nos permite regular la frecuencia de salida del alternador desde los 40 Hz hasta algo más de 50Hz.

## 2.2 Alternador

El alternador que va acoplado al motor se trata de un alternador trifásico síncrono TEKEL TT8.5. Dicho alternador entrega una potencia de 5 kVA cuando está conectado como alternador monofásico y, de 8,5 kVA cuando el alternador está conectado como un alternador trifásico.

En la siguiente tabla se indican los datos característicos del alternador en cuestión.

TEKKEL TT8.5	
Fases	Trifásico + Neutro + Tierra
Tipo	S1
Potencia máxima	5,0 kVA a 230V <sub>ac</sub> – 8,5 kVA a 400 V
Tensión de salida	230 – 400 V <sub>ac</sub>
Clase de aislamiento	F
Factor de potencia	0,8
Frecuencia	50Hz
Velocidad de giro	3000 rpm
Peso	38Kg
Protección	IP21

Tabla 2. Características del alternador del generador

El alternador cuenta con un transformador de excitación (Compound) para el arranque, escobillas en el rotor, bobinado auxiliar, un doble puente rectificador y un varistor de protección contra sobretensiones.

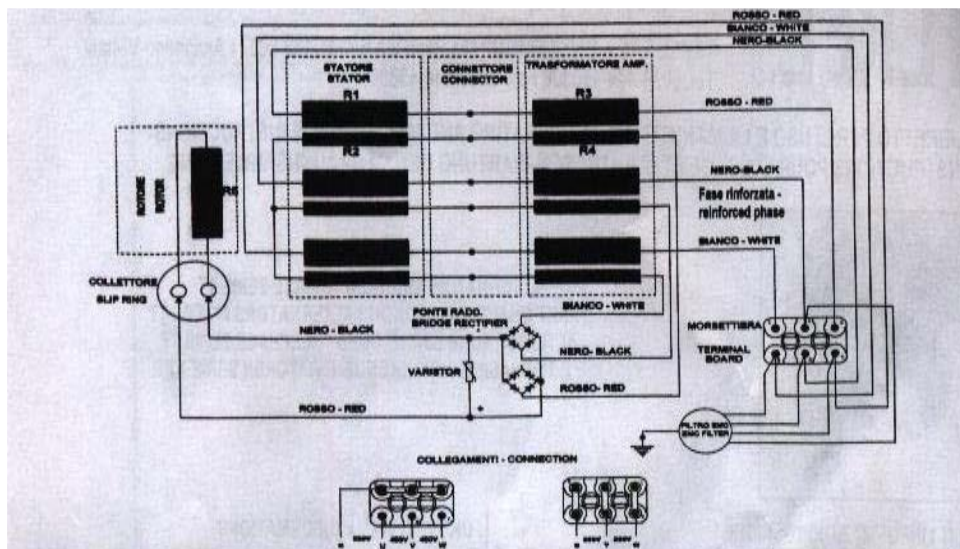


Figura 2. Esquema de cableado del alternador

Se ha de tener en cuenta que el generador nunca entregará una potencia activa superior a la potencia máxima que entrega el motor térmico en un régimen de giro de 3000rpm, que equivale una frecuencia de generación de 50 Hz. Además, el generador tampoco podrá entregar una potencia aparente en régimen permanente mayor a los 8,5 kVA que aparecen indicados en la placa de características de este.

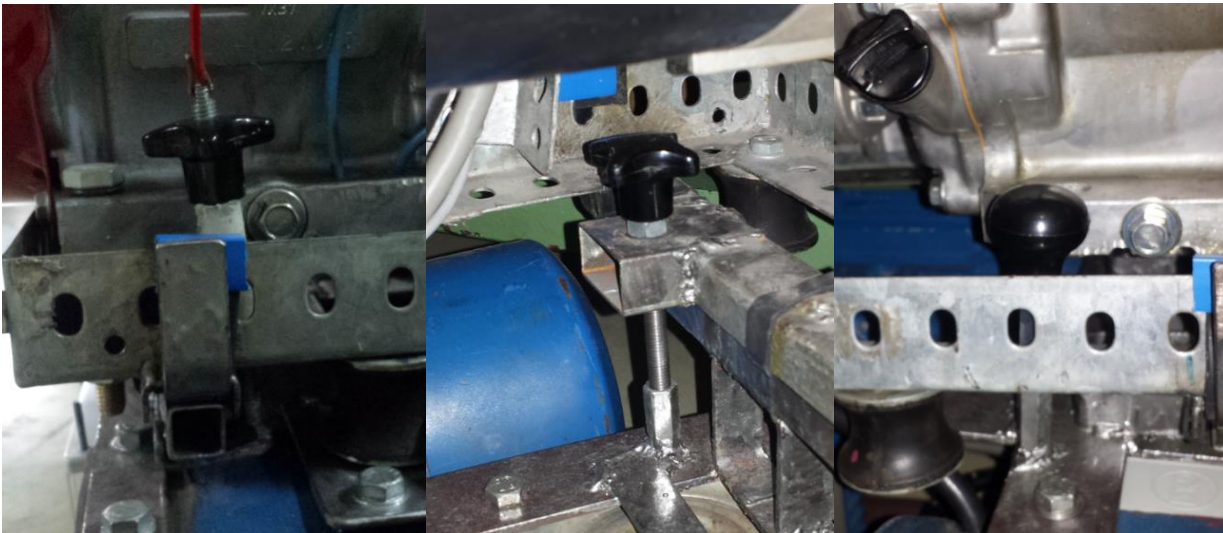
La potencia transitoria de sobrecarga o cortocircuito correspondiente al alternador de 8,5 kVA, puede llegar a ser del orden del triple, mantenida durante el tiempo que permita la energía cinética acumulada en las masas rodantes del motor térmico y del alternador, que giran a 3000 rpm y es claramente superior a la necesaria para el arranque de los motores tractores en este caso

Como se puede ver en la tabla de características el generador ofrece una protección con un índice IP 21, por lo que no debería entrar el agua dejada caer encima durante 10 minutos a razón de 3-5 mm<sup>3</sup> por minuto, según norma IEC 60529, esto se ha de tener en cuenta a la hora de utilizar el vehículo. Se tendrá que extremar la precaución si se quiere extraer del agua una embarcación bien usando un cabo que permita mantener una distancia de seguridad con el agua en caso de que la embarcación arrastre al grupo, o bien realizando una modificación de la estructura del grupo.

### 2.3 Estructura

El conjunto motor-alternador del generador está montado sobre una estructura que fue diseñada y construida por Albert Peregrina para su Proyecto final de Carrera.

En este TFG se ha diseñado y construido una estructura de unión entre los dos motores, con unas medidas pensadas para hacer que la estructura del generador encaje con la estructura que une a los dos propulsores. Con la idea de unir las dos estructuras, la de los dos motores y la del alternador, se han integrado unos puntos de soporte y anclaje en la estructura construida en este TFG.



*Figura 3. Puntos de soporte y anclaje*

La estructura que soporta al conjunto motor-alternador está construida mediante la unión de ángulos laminados de acero galvanizado. A la base de esta estructura se le realizaron unos rebajes diagonales en la parte interna de las esquinas y se doblaron hasta conseguir una estructura rectangular. Para finalizar se realizó una soldadura para fijar la base rectangular.

Esta estructura también contiene, coincidiendo con el centro de gravedad del grupo, otra estructura que permite coger el grupo con una grúa para facilitar su instalación. Esto nos permite, que el vehículo que se ha construido en este trabajo, pueda ser levantado y movido con gran facilidad gracias a la gran integración entre la estructura del generador y la estructura construida en este TFG.

Al final se ha conseguido una estructura muy resistente y compacta, que en el caso de este TFG nos permite que podamos coger y mover el prototipo mediante este punto de sujeción.

## Capítulo 3. Motorización

Para la propulsión del vehículo diseñado y construido en este TFG, se han utilizado dos unidades de motores eléctricos trifásicos del tipo Jaula de Ardilla. Una de las principales ventajas de estos motores es soportan una gran variedad de tipos de arranque, los cuales se exponen a continuación:

- Arranque directo
- Arranque estrella-triángulo
- Arranque por autotransformador
- Arranque intercalando resistencias o reactancias en el estator
- Arrancadores electrónicos.

En el caso de este TFG, al ser los motores escogidos de poca potencia y estar el generador sobredimensionado, se opta por no añadir ningún sistema de arranque y realizar arranque directo de estos motores.

### 3.1 Principio de funcionamiento y características del motor asíncrono.

Un motor asíncrono o de inducción es un tipo de motor que funciona con corriente alterna. El principio de funcionamiento de este motor se basa en la generación un campo magnético giratorio en el estator del motor (Inductor), el cual induce en el rotor del motor (Inducido) unas corrientes que originan un enlace electromagnético que hace girar al rotor a una velocidad ligeramente inferior a la del campo magnético generador por el estator o campo estatórico.

El motor asíncrono trifásico puede ser de tipo rotor bobinado, llamado también de anillos, o bien de tipo jaula de ardilla. La diferencia principal entre los dos tipos reside en la estructura del rotor.

En los motores asíncronos de rotor bobinado, el rotor está constituido por una serie de conductores bobinados sobre él en una serie de ranuras situadas sobre su superficie. De esta forma se tiene un bobinado en el interior del campo magnético del estator, del mismo número de polos, y en movimiento.

En los motores asíncronos de Jaula de ardilla, el rotor está constituido por una serie de conductores metálicos (normalmente de aluminio) dispuestos paralelamente unos a otros, y cortocircuitados en sus extremos por unos anillos metálicos, esto es lo que forma la llamada jaula de ardilla por su similitud gráfica con una jaula de ardilla. Esta 'jaula' se rellena de material, normalmente chapa apilada. De esta manera, se consigue un sistema n-fásico de conductores (siendo n el número de conductores, comúnmente 3) situado en el interior del campo magnético giratorio creado por el estator, con lo cual se tiene un sistema físico muy eficaz, simple, y muy robusto.

En ambos casos el estator constituye la parte fija del motor, y es la parte del circuito magnético que contiene los devanados.

### 3.2 Motores eléctricos

Para propulsar a este grupo autónomo autopropulsado se han escogido dos motores eléctricos asíncronos trifásicos del tipo Jaula de ardilla. Estos motores son del fabricante MGM motori elettrici S.p.a y corresponden al modelo BA 71 B4.

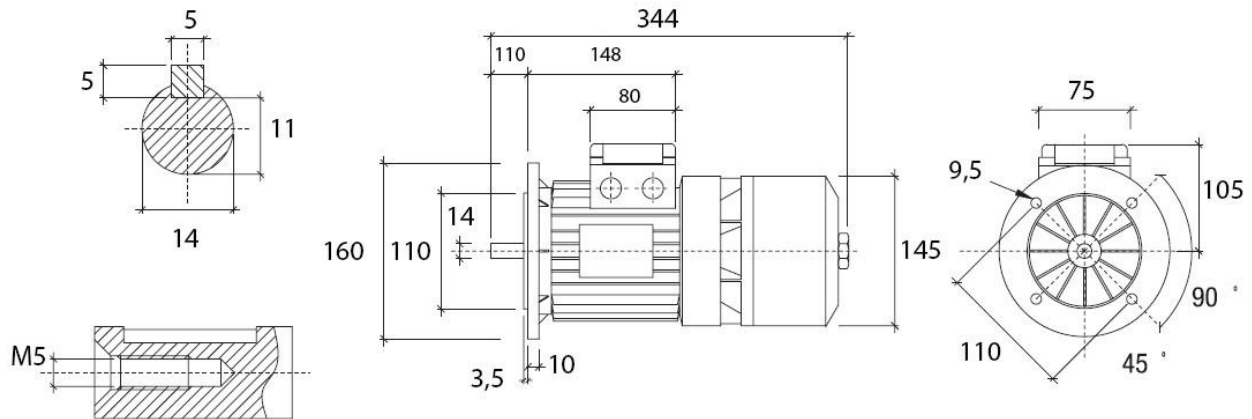


Figura 4. Medidas motor eléctrico

En la siguiente tabla se indican los datos característicos de los motores MGM escogidos para una frecuencia de 50Hz:

MGM BA 71 B4	
Potencia	0,37 kW – 0,5CV
Velocidad de giro	1400 rpm
Grado de protección	IP 54
Clase de aislamiento	F
Factor de servicio	S1
$V_n$ (Y/ $\Delta$ )	400 – 230 V
$I_n$ (Y/ $\Delta$ )	1,1 – 1,9 A
Factor de potencia ( $\cos\phi$ )	0.68
Par nominal ( $T_n$ )	2.52 N·m
$T_s/T_n$	2.7
$I_s/I_n$	3.9
$I_{freno\ mecánico}$	90 mA
$Z_0$ (Arranques/hora)	19000
Momento de inercia $J \times 10^{-4} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$	8,1
Máxima torsión de frenado freno mecánico	14 N·m
Peso	10,5 Kg

Tabla 3. Características de los motores eléctricos



Estos dos motores han sido cedidos para este TFG por el profesor de la UPC y tutor de este trabajo, Ricard Bosch Tous. Se han elegido estas dos unidades por el principal motivo de que se disponía de dos unidades iguales de propulsores y, las dos tenían incorporado ya un reductor, cosa que facilitaba el trabajo, ya que no se debía de buscar y adaptar un reductor a los motores.

Estos motores también contaban con la ventaja de que en los reductores estos ya tienen en su cuerpo puntos en los cuales, sin mucha dificultad, los reductores permiten su fijación en algún tipo de estructura. Esto se ha aprovechado a la hora de diseñar y construir la estructura base de este TFG, en la que van montados los dos propulsores y, sobre la cual se instala el generador. La única adaptación que se tuvo que realizar fue la de girar el motor del propulsor derecho 90 grados. Esto se hizo con el fin de que las cajas de bornes de los dos motores quedarán en el medio de la estructura, protegidas ante posibles impactos.



*Figura 5. Posición final de las cajas de las placas de bornes*

Para conseguir una mejor maniobrabilidad del vehículo y, para reducir los picos de consumo de corriente al arrancar los propulsores, se decidió separar la alimentación del motor y de los frenos de este añadiendo una segunda placa de bornes. Esta modificación supuso una modificación en la caja de bornes de los motores, que ahora al contrario que antes, queda abierta. Esto es debido a que no hay suficiente espacio físico dentro de las cajas de bornes de los motores como para alojar dos placas de bornes dentro de ellas. Como consecuencia a lo explicado anteriormente, el grado de protección de los motores ya no es IP 54, sino que pasan a tener un grado de protección inferior.

### 3.3 Reductores

Los reductores que van instalados en los dos motores son del fabricante METRASAL, modelo MRIV40.

En la siguiente tabla se indican los datos característicos:

METRASAL MRIV40	
Potencia entrada máxima	0,37kW – 0.5 CV
Reducción	40,6:1
Par salida	76,518 Nm
Potencia / rpm	0,000264 kW/rm – 0,000357 CV/rpm

Tabla 4. Características de los reductores

No ha sido posible encontrar más documentación acerca de los inversores debido a que METRASAL cesó su actividad en el año 2004.

### 3.4 Cálculo eficiencia de los reductores.

Al disponer cada propulsor de un reductor de velocidad, este elemento como todo elemento mecánico tiene unas pérdidas asociadas a su funcionamiento, que afectaran a la potencia final entregada por el conjunto del propulsor. Consideraremos que los dos reductores, al ser iguales, tienen el mismo rendimiento

Para calcular la eficiencia de los motores, se calcula primero la potencia que, según la placa de características de los reductores, mediante la fórmula de la potencia es igual al par por la velocidad angular, estos entregan en su eje de salida.

Según la placa de características del reductor, este en su eje de salida entrega 76,518 Nm y la velocidad de giro del eje es de 34,5 rpm (3,612 rad/s). Con esto, la potencia calculada a la salida del inversor es de:

$$P_{salida} = \tau_{salida} \times \omega_{salida} = 76,518 \times 3,612 = 276,45 \text{ W}$$

En cuanto a la potencia de los propulsores, según datos de la placa de características y la ficha del fabricante, estos entregan una potencia de 0,37 kW cada uno. Este dato coincide con la potencia máxima que admite el inversor en el eje de entrada.

Con los datos anteriores, se procede a calcular la eficiencia del inversor, obteniendo que la potencia a la salida del inversor es significativamente inferior a la potencia a la entrada.

$$\eta = \frac{276,45}{370} \times 100 = 74,72\%$$

Tal y como muestra el anterior calculo, a la salida del reductor únicamente se dispone del 74,72% de la potencia que entra por el eje de entrada, o lo que es lo mismo, el reductor tiene unas pérdidas del 25,28%.

# Capítulo 4. Controles y Protecciones

## 4.1 Controles y protecciones.

El diseño del sistema de control del vehículo se empezó a diseñar a la misma vez que se diseñaba la forma física y la distribución de los elementos que iban a formar al vehículo objeto de este TFG.

Al principio se pensó en utilizar únicamente un motor para la propulsión de todo el conjunto, y utilizar un inversor de giro de relación 1:1 en una oruga para cuando hiciera falta hacer girar el vehículo. Tras esto, y al disponer de dos unidades de motores eléctricos con reductor incorporado idénticas, se optó por utilizar un motor para cada oruga.

En este último caso se tenía pensado controlar la dirección de giro de cada motor e incorporar un elemento que controlase los consumos de corriente de cada motor para proteger a estos contra sobrecorriente. En el caso de que entre la oruga y alguna rueda en el interior de esta quedase atrapado algún elemento extraño que bloquease el motor, este elemento de control se tenía pensado que activase una señal lumínica y/o sonora que avisase a la persona al mando de que podría haber un elemento extraño entre la oruga y la rueda motriz de esta que podría romper la oruga o hacer que esta se saliera del conjunto, imposibilitando la tracción del vehículo por su lado.

Finalmente, tras descartar la opción de la propulsión mediante orugas, se decidió que el vehículo sería realizado acoplando un eje con una rueda a cada motor e instalando una rueda loca para hacer al conjunto estable y maniobrable.

## 4.2 Sistema de control del vehículo.

El sistema de control que finalmente se diseñó para el diseño que finalmente se construyó, es también el diseño más sencillo, ya que el único elemento sobre el cual se ha de actuar para tener el control sobre el vehículo es un mando en el cual únicamente hay dos conmutadores. Estos conmutadores sirven para seleccionar el sentido de rotación de cada motor y, cada motor tiene uno asociado.

A la hora de diseñar este sistema de control del vehículo, se han tenido en cuenta diferentes aspectos.

Primero, los motores escogidos son motores eléctricos asíncronos de tipo Jaula de ardilla. Existen diferentes tipos de arranque para estos motores cómo ya se ha explicado anteriormente. En el caso de los motores de este TFG, al ser estos de poca potencia, no hay mayor inconveniente en realizar arranques directos. Según datos del fabricante, estos motores aguantan 19.000 arranques por hora cada uno. Suponiendo que no vamos a llegar a esa cifra de arranques, se decidió no instalar ningún sistema de arranque a los motores, los arranques se hacen por arranque directo.

Tras esto, se pasó a buscar un modelo de rueda que fuera fácil de adaptar a nuestras necesidades. Finalmente se decidió instalar una rueda tipo jockey, como las que se instalan en los remolques, cada una de las cuales puede aguantar un peso de 200 Kg, suficiente para el propósito del vehículo.



*Figura 6. Ruedas tipo jockey utilizadas*

Una vez escogida la rueda, se pasa a calcular de manera experimental la velocidad a la cual se desplazará el grupo usando estas ruedas:

- Se coge como valor de referencia la velocidad promedio de una persona cuando camina. Esta velocidad es de 5 km/h o 1.39 m/s.
- Las ruedas escogidas tienen un diámetro de 0,2 metros. Calculando el perímetro de estas se consigue la distancia que se recorre cada vez que la rueda da una vuelta.

$$\text{Perímetro rueda} = 2 \times \pi \times 0,1 = 0,63 \text{ m}$$

- Una vez se sabe la distancia que se avanza por cada vuelta de la rueda, se pasa a calcular la velocidad que alcanzará el vehículo. Se toma como referencia las 34,5 rpm que se indican en la placa del reductor del propulsor.

$$V_{\text{vehículo}} = 34,5 \times \frac{0,63}{60} = 0,36 \text{ m/s} = 1,3 \text{ km/h}$$

Tras estos cálculos, obtenemos que la velocidad del vehículo será de 1,3 km/h, velocidad, que es similar a la de una persona caminando y que no supone riesgo a la hora de arrastrar grandes objetos

Finalmente, viendo que la velocidad del grupo no iba a ser muy alta, y que los motores estaban diseñados para soportar un número elevado de arranques, para gestionar el funcionamiento de los motores y la inversión del sentido de giro de estos, se decidió utilizar dos controladores de arranque, uno para cada motor, y así poder controlarlos de manera independiente.

### 4.3 Controladores de arranque.

Como controladores de arranque, se han escogido 2 unidades de PHOENIX CONTACT modelo ELR W3-230AC/500AC-9I. Este contactor combina 4 funciones en un mismo dispositivo:

- Contactor derecha
- Contactor izquierda
- Relé guardamotor
- Contactor de parada de emergencia hasta la categoría 3.

Las funciones más importantes que realizan estos controladores de arranque son la de contactor derecha y la de contactor izquierda. El propio dispositivo realiza la inversión de giro del motor.

El propio dispositivo también actúa como protección de los motores, si detecta alguna anomalía en el motor conectado, corta la alimentación de este y mediante leds indica el error ocurrido.

En la siguiente tabla extraída del manual del fabricante se indican los datos característicos de los controladores de arranque escogidos:

Tipo	Código	ELR W3-24DC/500AC-2I	2297031
		ELR W3-24DC/500AC-9I	2297057
		ELR W3-230AC/500AC-2I	2297044
		ELR W3-230AC/500AC-9I	2297060
Datos de entrada		ELR W3-24DC/...	ELR W3-230AC/...
Tensión asignada de alimentación de control $U_c$ según IEC 60947-1 / UL 508		24 V DC	230 V AC (50/60 Hz)
Margen de tensión de alimentación de control		19,2 ... 30 V DC	85 ... 253 V AC (32 V DC, max. 1 min.)
Tensión de alimentación de control			
Nivel de conmutación "Apagado seguro"		< 5 V DC	< 5 V AC
Corriente asignada de alimentación de control IEC 60947-1		≤ 40 mA	≤ 4 mA
Entrada	Nivel de conmutación "bajo"	-3...9,6 V DC	< 44 V AC
de mando	Nivel de conmutación "Apagado seguro"	< 0,5 V DC	< 5 V AC
L, R:	Nivel de conmutación "alto"	19,2...30 V DC	85...253 V AC
	Corriente de entrada	≤ 5 mA	≤ 7 mA
Datos de salida	Lado de carga	ELR...-2I	ELR...-9I
Esquema de conexión		nivel final de seguridad con Bypass, desconexión trifásica	
Tensión asignada de servicio $U_e$ según IEC 60947-1		500 V AC (50/60 Hz)	500 V AC (50/60 Hz)
Margen de tensión de servicio según IEC 60947-1		42 ... 550 V AC	42 ... 550 V AC
	según UL 508	42 ... 500 V AC	42 ... 500 V AC
Corriente de carga para 20 °C (ver 8.2. Curva derating)		0,18...2,4 A	1,2 ... 9,0 A
Corriente de carga para 20 °C sin función de seguridad y detección de asimetrías (ver 8.2. Curva derating)		0...2,4 A	0 ... 9,0 A
Corriente asignada de servicio $I_c$ según IEC 60947-1			
AC-51	según IEC 60947-4-3	2,4 A	9 A
AC-53a	según IEC 60947-4-2	2,4 A	6,5 A
	según UL 508	2,4 A	6,5 A
Potencia nominal de conmutación según UL 508			
Full Load (factor de potencia = 0,4)		0,9 kW (1,2 HP)	2,3 kW (3,0 HP)
Full Load (factor de potencia = 0,8)		1,7 kW (2,2 HP)	4,6 kW (6,1 HP)
Corriente de fuga (entrada, salida)		0 mA	0 mA
Tensión residual para $I_c$		< 300 mV	< 500 mV
Corriente transitoria		100 A (t = 10 ms)	100 A (t = 10 ms)
Circuito de protección de entrada		varistores	varistores
Short circuit current rating SCCR según UL 508		- apto para el uso en circuitos que no entreguen más de 5 kA <sub>cl</sub> de corriente simétrica, máx. 500 V - apto para el uso en circuitos que no entreguen más de 100 kA <sub>cl</sub> de corriente simétrica, máx. 500 V, cuando se haya provisto un fusible de 30 A de clase J o CC	
Salida de acuse de recibo			
Tipo de contacto		contacto simple, 1 contacto conmutado	
Material del contacto		aleación de Ag, dorado duro	
	en caso de utilización como	contacto de señales	contacto de potencia
Tensión máx. de activación		30 V AC / 36 V DC	250 AC/DC
Tensión mín. de activación		100 mV	12 V AC/DC
Corriente constante límite		50 mA	2 A
Corriente mín. de conmutación		1 mA	10 mA
Potencia máx. de ruptura, carga resistiva:	24 V DC	1,2 W	140 W
	48 V DC	-	20 W
	60 V DC	-	18 W
	110 V DC	-	23 W
	220 V DC	-	40 W
	250 V AC	-	500 VA

Tabla 5. Características de los controladores de arranque (I)

Técnica de medición (ref. a 8.1. curva característica de disparo)		ELR...-2I	ELR...-9I
<b>Medición de corriente de dos fases</b>			
Margen		0,18...2,4A	1,5...9,0 A
<b>Vigilancia de simetría</b>			
Valor ( $I_{\text{máx.}} - I_{\text{mín.}} / I_{\text{máx.}}$ )		$\geq 33\%$ / $\geq 67\%$	$\geq 33\%$ / $\geq 67\%$
Tiempo de reacción		2 min. / 1,8 s	2 min. / 1,8 s
<b>Vigilancia de falta de fase</b>			
I(L1), I(L3)	típ.	< 150 mA	< 1200 mA
valor pequeño (ángulo (L1, L3))		170° ... 190°	170° ... 190°
Tiempo de reacción		2 s	2 s
<b>Protección de bloqueo</b>			
I(L1) o I(L3)		> 12 A	> 45 A
Tiempo de reacción		2 s	2 s
Característica de disparo (s. fig. 8.1.) según IEC 60947		Class 10A	Class 10A
Tiempo de enfriamiento		20 min.	20 min.
<b>Exigencia simultánea giro a la derecha y giro a la izquierda</b>			
Tiempo de reacción		20 ms	20 ms
<b>Elementos de operación</b>			
Indicación de la tensión de alimentación de control de		LED PWR (verde)	
Indic. de error de aparatos e indic. de error de proceso		LED ERR (rojo)	
Indicación de mando giro a la izquierda / a la derecha		LED L (amarillo) / LED R (amarillo)	
Pulsadores		acuse de recibo de error	
Potenciómetro para ajuste de corriente nominal de motor		240°	
<b>Datos generales</b>			
Disipación	mín./máx.	0,88 W / 4,1 W	0,88 W / 7 W
Frecuencia de red		40...100 Hz	
Frecuencia máx. de conmutación (tiempos de impulso/tiempos de pausa 50:50)		2 Hz	
Duración		3 x 10 <sup>4</sup> operaciones	
Índice de protección		IP20	
Gama de temperatura ambiente funcionamiento		-25 °C hasta +70 °C	
transporte, almacenamiento		-25 °C hasta +80 °C	
Tensión transitoria de dimensionamiento entre		6 kV (ELR W3-24DC/...)	
Tensión de entrada de mando, tensión de alimentación de control de dimensionamiento y tensión de conexión			
• Tensión nominal de red ( $\leq 500$ V AC)		separación segura (EN 50178)	
• Tensión nominal de red ( $\leq 300$ V AC, por ej. 230/400 V AC, 277/480 V AC)		separación segura (IEC 60947-1)	
• Tensión nominal de red (300...500 V AC)		aislamiento básico (IEC 60947-1)	
Tensión de entrada de mando, tensión de alimentación de control de dimensionamiento y salida de acuse de recibo		separación segura (IEC 60947-1)	
Salida de acuse de recibo y tensión de conexión			
• Tensión nominal de red ( $\leq 500$ V AC)		separación segura (EN 50178)	
• Tensión nominal de red ( $\leq 300$ V AC, por ej. 230/400 V AC, 277/480 V AC)		separación segura (IEC 60947-1)	
• Tensión nominal de red (300...500 V AC)		aislamiento básico (IEC 60947-1)	
Tensión transitoria de dimensionamiento entre		4 kV (ELR W3-230AC/...)	
Tensión de entrada de mando, tensión de alimentación de control de dimensionamiento y tensión de conexión			
• Tensión nominal de red ( $\leq 500$ V AC)		aislamiento básico (IEC 60947-1)	
Tensión de entrada de mando, tensión de alimentación de control de dimensionamiento y salida de acuse de recibo		separación segura (IEC 60947-1)	
Salida de acuse de recibo y tensión de conexión			
• Tensión nominal de red ( $\leq 300$ V AC, por ej. 230/400 V AC, 277/480 V AC)		separación segura (IEC 60947-1, EN 50178)	
• Tensión nominal de red (300...500 V AC)		aislamiento básico (IEC 60947-1)	
Categoría de sobretensiones		III	
Grado de suciedad		2	
Normas/especificaciones:		IEC 60947-4-2 / IEC 61508-1 / EN 954-1 / ISO 13849-1	
Exigencia para compañías eléctricas		DWR 1300 / ZXX01/DD/7080.8d	
Tipo de asignación		1	
Posición para el montaje		vertical (sobre carril horizontal)	
Montaje (s. 8.2. Curvas de derating)		Alineable con separación $\geq 20$ mm	
Caja: material		PA 66	
dimensiones (A/A/P)		(22,5 / 99 / 114,5) mm	
Datos de conexión (sección de conductor)		Ver los indicaciones de conexión (página 33)!	
Bornes de tornillo (rígido/flexible)		0,14-2,5 mm <sup>2</sup> (AWG 26-14)	
Rosca M3, par de apriete recomendado		0,5 - 0,6 Nm / 5-7 lbs-ins	
Peso		aprox. 212 g	
<b>Conformidad / homologaciones</b>			
según UL 508		NLDX File: E228652	
		NMFT File: E323771	
Certificado de prueba tipo EG según ATEX		Ⓔ II (2) G, Ⓔ II (2) D PTB 07 ATEX 3145	

Tabla 6. Características de los controladores de arranque (II)



#### 4.4 Mandos del vehículo.

A modo de mandos para el vehículo, se han usado dos conmutadores de doble circuito, con posición central neutra de retorno con muelle, en adelante conmutadores de mando.



*Figura 7. Conmutador de mando*

En cuanto a los conmutadores utilizados para gestionar la alimentación de los frenos de los motores y los conmutadores del mando del vehículo, se han usado dos conmutadores de doble circuito y de dos posiciones, en adelante conmutadores de alimentación. Se ha elegido este tipo de conmutadores debido a que son muy fáciles de encontrar en el mercado y, por que por forma y tamaño cumplen con la función para la que se ha pensado utilizarlos.



*Figura 8. Conmutador de alimentación*

Al tener que cortar la alimentación de 3 fases, se han situado estos dos conmutadores de alimentación el uno al lado del otro, y se han repartido las 3 fases entre los dos, quedando un circuito de un conmutador sin conectar.

Estos dos conmutadores se han situado en un lateral de la caja de los controladores de arranque, de esta manera quedan protegidos ante cualquier impacto o golpe que pueda accionarlos y permitir que el vehículo se mueva, pudiendo causar un accidente.

En cuanto a los conmutadores de mando. Este tipo de conmutadores, en la posición de reposo actúan como un interruptor abierto y, en cualquiera de las dos posiciones restantes conducen la electricidad por una salida u otra del mismo.

Los conmutadores de mando se han situado en el mando, el uno junto al otro, a una distancia y en una posición pensada especialmente para que el uso de estos fuera ergonómico y así poder ser accionados con un solo dedo de la mano.





*Figura 9. Pruebas ergonomía conmutadores mando*

Al final se decide dejar los conmutadores instalados tal y como se puede ver en la configuración de la derecha en la figura 9. Si se sujeta el mando con una mano, con los conmutadores en esta posición es más fácil accionar los conmutadores y ejercer fuerza sobre ellos con menos dificultad que en la configuración que se muestra en la izquierda en la figura 9.

Las salidas de estos conmutadores se han conectado a los controladores de arranque que, en última instancia serán los que controlarán el sentido de giro de los motores. Con los conmutadores del mando únicamente se enviará la señal al controlador de arranque correspondiente, para que sea este el que actúe sobre el motor.

Este tipo de conmutador es idóneo para el uso para el que está diseñado este vehículo ya que, si no hay nadie accionando ningún conmutador, el vehículo no se moverá. Obliga a que alguien actúe sobre el mando del vehículo para que este avance. Además, con este tipo de conmutador podemos alimentar una u otra de las entradas que tiene el contactor para seleccionar la dirección de giro de los motores.

#### **4.5 Protecciones**

Cómo protecciones eléctricas, al principio del diseño únicamente se pensó en contar con los propios controladores de arranque, ya que estos tenían incorporada una protección ya para los motores.

Al estar pensado finalmente como un prototipo compacto para utilizar en laboratorio no se consideró necesaria la instalación de más protecciones.

También, se consideró que, al ser el vehículo a construir un prototipo, que estaría alimentado por un generador de baja potencia y que siempre tendría que ser controlado por un operario, que sería este el que en caso de ocurrir algún problema durante la operación del vehículo, se diera cuenta de la problemática y detuviera toda operación con el vehículo.

El trabajar únicamente contando con la protección de los motores se vio que no era conveniente el día en que, al ver que con el alternador del grupo conectado en triangulo los controladores de arranque no

conectaban y se tomó la decisión de alimentar al vehículo directamente de la red eléctrica trifásica del laboratorio de la ETSEIB. A causa de conectar el vehículo a esta red, sin fijarse en que entre  $U_s$  y N del contactor se habían medido, antes de realizar la conexión 400V entre fase y neutro, un contactor, que era el único que en aquel momento estaba conectado, explotó debido a que se alimentó a 400V. Este valor es muy superior a los 253V que indica el fabricante como máximo para la alimentación del sistema de control del controlador de arranque. Tras este incidente, se consideró que si era necesario añadir al menos, un elemento más de protección.

Cómo se tenían que realizar más pruebas, se procedió a instalar primero entre la fase S del alternador, que es la que alimenta al contactor, y la entrada de la alimentación del sistema de control del controlador de arranque  $U_s$  un magnetotérmico de 4 polos y 5 A conectado en serie. Se realizó esta conexión en serie para reducir el tiempo de respuesta del magnetotérmico en caso de fallo.

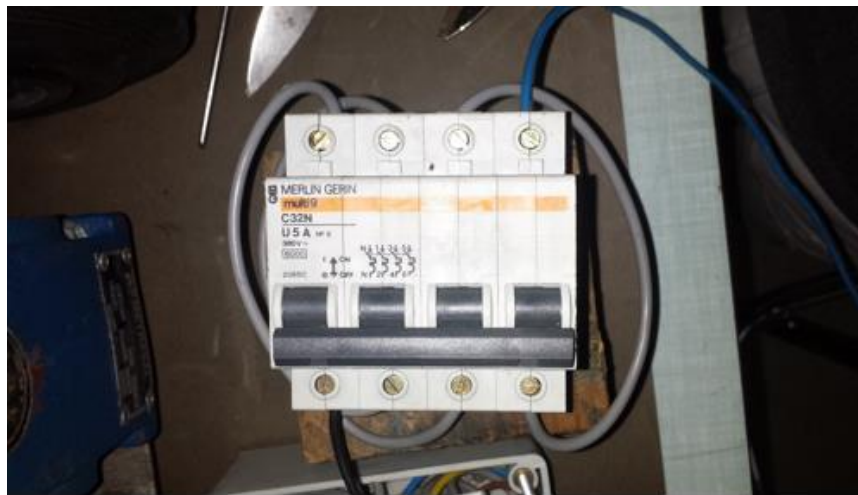


Figura 10. Interruptor magnetotérmico de 4 polos conectado en serie

Tras comprobar que el controlador de arranque funcionaba, se procedió a integrar en el sistema un magnetotérmico de 10<sup>a</sup>, de un solo polo, del fabricante AEG, como protección de los sistemas de control de los dos controladores de arranque.



Figura 11. Interruptor magnetotérmico unipolar AEG

Con esto se añadió una protección a la parte más sensible del sistema y, se espera de este elemento que proteja al sistema de control del controlador de arranque en caso de que, por error este se alimente a más tensión de la indicada por el fabricante.

El esquema eléctrico del sistema de control, se encuentra en la carpeta de anexos adjunta a este trabajo y corresponden al archivo “Anexo 3”.

### 4.6 Funcionamiento

El sistema de control del vehículo está pensado para que este pueda ser manejado de manera sencilla e intuitiva, teniendo que accionar únicamente cuatro conmutadores, los dos conmutadores de alimentación, que se han juntado, y los dos conmutadores de mando.

Se ha diseñado el circuito para que sean los controladores de arranque quienes controlen a los propulsores. Mediante el uso de dos conmutadores de mando, uno para cada motor, se envía una señal al contactor que le indica a este en qué sentido quiere el operario que gire el motor. Estos dos conmutadores se sitúan en el mando, y cada conmutador controla a un motor.

Como medida de seguridad, los frenos de los motores eléctricos y los conmutadores de mando no funcionarán si los conmutadores de alimentación no están en la posición correcta. Se ha diseñado así para que el vehículo no pueda avanzar de manera accidental pudiendo causar un accidente. Para que el vehículo avance, ha de ser el operario el que accione los conmutadores de alimentación y, una vez que haya acabado de usarlo, ha de ser también él el que vuelva a accionar estos conmutadores. Estos últimos conmutadores se sitúan en un lateral de la caja donde está todo el cableado y los controladores de arranque, un tercero.

Antes de poner el generador en marcha, se ha de verificar siempre que el interruptor que alimenta los frenos de los motores y a los interruptores del mando no esté conectado, como medida de seguridad. Se recomienda dejar el mando de control del vehículo en un lugar seguro, donde nada ni nadie pueda accionarlo, antes de proceder a accionar los conmutadores de alimentación.

Para mover el vehículo, simplemente mover el conmutador de mando de cada motor hacia la dirección que queramos estos giren. Los dos motores pueden funcionar a la vez en la misma dirección, o en direcciones opuestas si están alimentados por el generador utilizado para este TFG.

Si el vehículo se alimenta con otro generador o bien se alimenta directamente de la red, esta conexión se tendrá que hacer siempre primero con el magnetotérmico abierto, como medida de protección de los controladores de arranque.

Antes de accionar el magnetotérmico para alimentar a los controladores de arranque, se tendrá que verificar siempre que la tensión entre la fase S, que es la que alimenta al contactor, y el neutro tenga un valor no superior a 230V, o lo que es lo mismo, que entre la alimentación de  $U_s$  y N exista una diferencia de tensión que no supere 230V.

Si esta tensión es mayor, no se deberá accionar bajo ningún concepto el magnetotérmico. Existe el riesgo de que los dos controladores de arranque resulten dañados gravemente.

## Capítulo 5. Proceso de diseño del vehículo

Durante el transcurso de la realización de este TFG, se han realizado varios diseños hasta encontrar un diseño adecuado para el vehículo y el propósito para el que este se ha pensado. En este capítulo se explican todos ellos.

### 5.1 Primer diseño

Al principio se pensó en diseñar un vehículo para extraer embarcaciones del agua, concretamente para extraer a la embarcación Lady del agua. Esta embarcación es propiedad de la asociación de patrones de yate, en adelante APY, un convenio con el Institut náutica de Barcelona, antiguo consorci el Far de Barcelona, y la Universidad Politécnica de Catalunya. Esta embarcación actualmente tiene un uso docente y de investigación en propulsión eléctrica.

Se pensó inicialmente en construir un vehículo para facilitar la entrada y salida de esta embarcación del agua y, para facilitar el movimiento de esta embarcación una vez fuera del agua. Este vehículo debía ser capaz de soportar a la embarcación sobre él.

Inicialmente se pensó en utilizar orugas como elemento que hiciera posible el desplazamiento del vehículo por superficies complicadas, donde el uso de ruedas no fuera factible. Se pensó que podría ser una buena solución aplicar un sistema similar al sistema utilizado en la carretilla todoterreno Honda HP500, pero en este caso, el vehículo estaría propulsado por un motor eléctrico alimentado por un generador a bordo de la embarcación a remolcar.

En un primer momento se pensó en comprar el bastidor de las orugas con las ruedas interiores de esta. Pero al buscar las partes, no se encontró ningún sitio online que suministrara estos elementos.

Se acudió a Suministros ILAGA SL, los cuales son distribuidores de Honda en Barcelona, a preguntar si nos podrían suministrar las piezas que requeríamos y el precio de estas. Tras hablar con ellos, aun teniendo que ir las piezas referenciadas a un nº de serie de una carretilla, por su parte no tuvieron ningún problema en ofrecerse a suministrar estos elementos. El precio por las partes que necesitábamos comprar para la construcción de este diseño que nos dieron fue el siguiente:

- PVP Bastidor: 1890 €
- PVP Ruedas libres: 215€ (Unidad)
- PVP Ruedas para dar tensión a la oruga: 160€ (Unidad)
- PVP Orugas: 500€ (Unidad)

El precio de estos elementos sumado a que, por el tamaño del bastidor, era necesario modificarlo ensancharlo y, que también se tenían que fabricar más elementos especialmente para este diseño, como las ruedas que moverían la oruga, hizo que este diseño fuera descartado al ser inviable económicamente.

## 5.2 Segundo diseño

Tras ver que utilizar el bastidor y elementos de la carretilla todoterreno Honda HP500 no era una opción viable, se pensó en construir un bastidor propio para el vehículo de este TFG, basándonos en el del Honda HP500. El problema que se observó en este caso, es la gran complejidad del sistema que regula la tensión de las orugas.

Este sistema no es fijo, sino que tiene un elemento elástico para mantener constante la tensión de la oruga. Este elemento en el caso de entrar un elemento extraño entre la oruga y una de sus ruedas se encarga de que este elemento no pueda romper a la oruga debido al aumento de la tensión sobre esta.

En el caso de este diseño, se pensó en incorporar un elemento que controlase las sobrecorrientes que pudiera sufrir el motor para que, en caso de que entre la oruga y alguna de sus ruedas quedase atrapado algún elemento extraño que bloquease el motor o incrementase la tensión en la oruga, este elemento de control activase una señal lumínica y/o sonora y pudiese llegar a cortar la alimentación al motor. Se pensó este sistema de aviso al operario, para que este se diera cuenta de que podría haber un elemento extraño entre la oruga y la rueda motriz de esta que podría romper la oruga o hacer que esta se saliera del conjunto, imposibilitando la tracción del vehículo por su lado.

En este diseño también, se pensó en propulsar el vehículo únicamente con un motor eléctrico, acoplando inversores de giro a cada una de las orugas. Viendo la complicación de encontrar dos reductores idénticos, que aguantasen los mismos esfuerzos en una dirección de giro u otra y, teniendo en cuenta que en aquel momento se disponía de un motor eléctrico trifásico con un reductor incorporado y, que se podría de disponer de otra unidad idéntica si fuese necesario, la idea de usar reductores para cada oruga y utilizar como propulsor un único motor eléctrico se descartó.

Otro factor también importante para descartar este diseño, fue la complejidad de construir una estructura para la oruga con el elemento regulador de tensión de esta y, que además fuera capaz de soportar el peso de la Lady

## 5.3 Tercer y último diseño

Tras haber descartado los dos primeros diseños, se decidió descartar la opción de usar orugas como elemento de tracción para el vehículo y, además, también se descartó usar este vehículo para introducir y extraer a la embarcación Lady del agua. Únicamente serviría para facilitar su movimiento fuera del agua tirando del soporte sobre el que está actualmente la embarcación fuera del agua.

En este caso, al no ser ya un vehículo sobre el que iría la embarcación, se repensó el propósito del vehículo a construir. Finalmente, el propósito de este vehículo se decidió que fuera el de un generador autopropulsado para trabajos de mantenimiento.

Para este tercer diseño se optó por utilizar como elemento de tracción del vehículo dos ruedas, una para cada motor. Esta solución únicamente implicaba buscar unas ruedas capaces de soportar una carga elevada y diseñar un eje para acoplar estas ruedas al motor eléctrico. Los planos de los ejes se encuentran en la carpeta de anexos adjunta a este trabajo y corresponden al archivo “Anexo 2”.





*Figura 12. Ejes contruidos*

Para dar estabilidad al vehículo y hacer que tuviera una elevada maniobrabilidad, se decidió construir una estructura triangular. En la base del triángulo se sitúan los dos propulsores, paralelos el uno al otro, y en un vértice de este triángulo se sitúa una rueda loca, quedando el vehículo soportado por 3 ruedas. Al no estar pensado el vehículo diseñado y construido para este proyecto pensado para soportar sobre su estructura cargas elevas e inestables, se considera que tres apoyos son suficientes. La ventaja que se obtiene de utilizar únicamente 3 apoyos es que, instalando la rueda loca en un extremo de la estructura triangular, en una posición entre los dos propulsores, se consigue una maniobrabilidad similar a la que se habría obtenido utilizando las orugas.

En este diseño, ya no se aprovecharía la energía producida por un generador situado en la embarcación a mover, por lo que se decidió añadir a la estructura del vehículo unos soportes para fijar y asegura el generador que finalmente se decidió utilizar para este TFG.

En la imagen siguiente se muestra el resultado final del vehículo:



*Figura 13. Imagen vehículo terminado*

Al ser este un vehículo pensado para apoyar en tareas de mantenimiento, se ha diseñado de manera de que, en caso de fallo, la reparación del mismo se pueda hacer de la manera más rápida y sencilla posible.

Cómo se puede ver en la figura 13, el vehículo finalmente construido finalmente se ha conseguido que sea muy compacto. Además, en el caso de que algún elemento del conjunto falle, este puede ser sustituido en un periodo de tiempo corto. Se ha diseñado para que todos los elementos que lo componen puedan ser retirados y sustituidos sin mucho esfuerzo.

A modo de ejemplo, si fallase algún motor eléctrico del grupo, lo único que se tendría que hacer sería desacoplar el motor del reductor, desconectar la alimentación del motor y del freno, retirar el motor dañado e instalar el motor nuevo.

# Capítulo 6. Materiales y construcción

## 6.1 Materiales utilizados

A continuación, se detallan en la siguiente lista los materiales que se ha utilizado para la construcción del vehículo objeto de este TFG:

- Motores eléctricos con reductor
- Grupo electrógeno
- Placa de Bornes
- Perfiles de plástico
- Ejes Ruedas
- Pasamanos de acero
- Diferentes tipos de cableado
- Rueda Loca
- Perfiles cuadrados de acero
- Una Caja estanca de superficie
- Regletas de conexión
- Una caja ICP
- Imanes
- Tres controladores de arranque
- Dos conmutadores de doble circuito, con posición central neutra de retorno con muelle
- Dos conmutadores de doble circuito y de dos posiciones
- Un prensaestopa
- Conector IEC60309 3P+N+T Macho

El uso de 3 controladores de arranque se debe a que, debido a un error, un contactor de los dos necesarios para el conjunto resultó fatalmente dañado.

Destacar que la gran mayoría del material ha sido cedido por el tutor de este trabajo, Ricard Bosch Tous.

El grupo electrógeno que se ha utilizado ya había sido utilizado anteriormente por Albert Peregrina Velasco para la realización de su proyecto final de carrera.

## 6.2 Construcción

### 6.2.1 Modificación de la caja de bornes de los motores

Al realizar el primer ensayo sobre el propulsor conectado en triángulo y observar que, la intensidad en el arranque era bastante elevada, se tomó la decisión de alimentar los frenos de los motores por separado. Esto implicaba alimentar a los frenos de los motores con una placa de bornes diferente a la ya existente en el motor. Al ser el espacio en el interior de la caja de bornes de cada motor muy limitado, se tuvo que realizar una ampliación de esta.



Para ello, se procedió a realizar 4 piezas de plástico, las cuales irían situadas en las cajas de bornes de los dos motores y servirían para fijar la placa de bornes de alimentación de los frenos de cada motor.



Figura 14. Modificación caja placa de bornes motor

Esto ocasionó la pérdida de protección IP de las cajas de bornes de los motores que, se considera asumible al ser el vehículo objeto de este TFG un prototipo, el cual no está previsto que se mueva en zonas con alto grado de humedad o, con riesgo de que los motores estén en contacto directo con agua.

### 6.2.2 Construcción ejes

Para la unión entre el reductor de cada motor y cada rueda, se mecanizaron dos ejes un eje de acero.

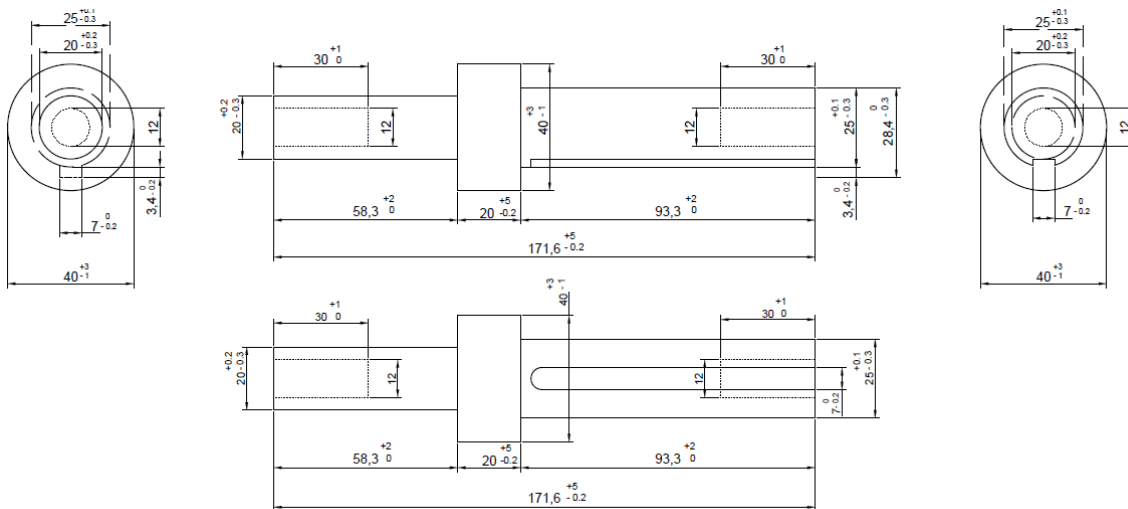


Figura 15. Planos ejes

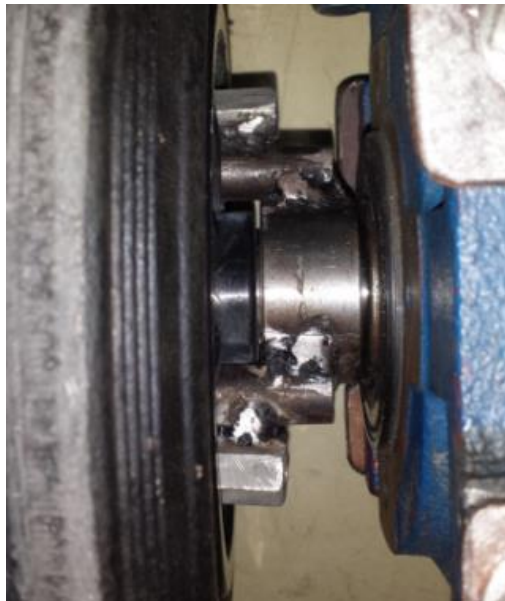
Una vez mecanizados los ejes y las chavetas de estos, se procedió a soldar sobre los dos ejes fabricados para unir las ruedas con los reductores, unos manguitos roscados M-8.

Al no coincidir los nervios de la rueda a un lado y a otro de esta, se tuvieron que hacer los orificios en la parte de esta donde, si se hacía un agujero, no había interferencia con el radio de la otra parte de la rueda.



*Figura 16. Interferencia radios rueda*

En cada rueda se realizaron dos orificios, en los cuales van situados unos tornillos que se roscan a los manguitos soldados anteriormente al eje.



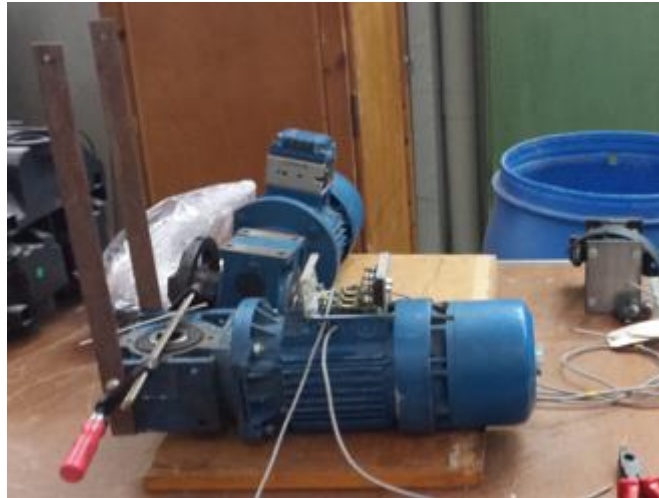
*Figura 17. Rueda acoplada al eje*

### 6.2.3 Estructura Motores

Para la construcción de la estructura base de los motores de este vehículo, se utilizó el material disponible en la ETSEIB, el cual el tutor de este TFG, Ricard Bosch, aportó para la construcción de esta estructura. Esta estructura se construyó utilizando pasamanos de acero.

Primero, se construyó una unión entre los 2 propulsores del vehículo. Para ello, se cortaron a la medida necesaria 4 pasamanos que se utilizarían para este fin. La distancia entre los dos motores debía ser lo menor posible, teniendo en cuenta que el grupo iba a ir montado en la zona de la estructura entre los dos motores, sobre estos. Se debía ir con cuidado para que la estructura del generador no interfiriese con las ruedas de los propulsores.

Una vez cortados a la medida los pasamanos, se procedió a realizar en cada uno de ellos, 4 agujeros que servirían para unir cada pasamanos a los orificios de fijación del reductor de cada motor.



*Figura 18. Construcción unión motores propulsores*

Una vez los 4 pasamanos estuvieron listos, se procedió a la unión entre estos y los dos motores para formar la primera parte de la estructura. En este proceso, se procedió a modificar la posición del motor derecho, para que la caja de bornes de este motor quedara justo en el espacio que quedaba entre los dos motores.

Se decidió dejar las dos cajas de bornes de los motores en medio para protegerlas ante posibles impactos y evitar accidentes indeseados.

Si bien los agujeros realizados en los pasamanos eran a la medida de los orificios existentes en los reductores, debido a las holguras derivadas de realizar estos de forma manual y, usar tornillos de una medida inferior a la del diámetro del orificio, si esta unión no se hacía correctamente, los propulsores podrían quedar desalineados.

Con la finalidad de evitar esta problemática, se presentaron todos los elementos y antes de proceder al apretado final de los tornillos, se introdujo una barra circular de la misma medida que el eje de salida de los reductores de los dos propulsores. Saber si los dos propulsores estaban bien alineados o no, es tan sencillo como hacer girar la barra introducida. Si la barra se puede hacer girar sin esfuerzo, significaba que los dos motores están alineados correctamente.



*Figura 19. Alineación motores*

Una vez alineados los motores correctamente se procedió a apretar los tornillos para fijar la unión.

Paralelamente a la preparación de los 4 pasamanos que unirían a los 2 motores, se empezaron a preparar también otros dos pasamanos. Estos serían los que se utilizarían a modo de unión entre la rueda loca, y la primera estructura de unión de los dos motores.

Estos dos pasamanos, tras ser cortados a la medida, se doblaron con una forma especial, debido a que estos debían pasar entre los dos motores y, en ese espacio, a modo de protección, se decidió situar las cajas de bornes de los motores. Así que se decidió adaptar los pasamanos para evitar interferencias entre estos y las cajas de bornes de los motores.

Una vez los pasamanos estuvieron listos, se procedió a presentarlos sobre la estructura construida hasta el momento, como unión de los dos motores con el fin de definir los 4 orificios, 2 en cada pasamanos, que se utilizarían para fijar la rueda loca y que nos servirían después también para fijar la posición en la que irían fijados estos dos pasamanos en la estructura de unión de los dos motores.

Cómo unión entre la primera estructura creada para unir a los propulsores, y esta segunda para la rueda loca, se decidió que la mejor opción era la soldadura. Con esto, se procedió soldar estas dos estructuras por electrodo revestido, quedando finalmente una única estructura. Para una mayor rigidez del conjunto, se soldó también otro pasamanos de menor tamaño entre los dos pasamanos de la rueda loca. Este último elemento se soldó justo encima de la zona donde va fijada la rueda loca.





*Figura 20. Estructura soldada*

Cuando los ejes de las ruedas estuvieron listos, se procedió a presentar el generador escogido sobre la estructura para la toma de medidas. Se observó que la no había suficiente espacio entre los propulsores y la estructura del generador, ya que esos estaban prácticamente en contacto.



*Figura 21. Creación soporte generador*

Al ver que la estructura del grupo interfería con el motor de la derecha, se decidió soldar otros perfiles cuadrados más en un pasamanos de unión entre los dos motores, y otro perfil cuadrado entre los dos pasamanos sobre los que iba fijada la rueda loca. Además de todo esto, se añadieron dos fijaciones más a la estructura para añadir dos puntos de fijación más entre la estructura del generador y la estructura construida para soportar a este y unir los dos motores.

Para hacer estas dos fijaciones extra, se soldaron 2 manguitos roscados M-8 en un punto de intersección entre un orificio de la estructura del grupo y la estructura de los motores. La otra fijación se haría utilizando un elemento de fijación ya existente en la estructura del generador.

Una vez, terminada la construcción de la estructura, se procedió a pintar la estructura para protegerla contra la corrosión.



*Figura 22. Estructura finalizada*

#### **6.2.4 Construcción mando de control**

Para la construcción del mando de control del vehículo, se utilizó una Caja estanca de superficie. A esta caja se le hicieron tres orificios, uno con la medida del prensaestopa para la entrada de todo el cableado y dos para los interruptores.

Al estar pensado para que sea posible operar el vehículo con una sola mano, antes de realizar ningún orificio en la caja, se realizaron diversas pruebas con tal de ver cuál era la mejor distancia entre los dos conmutadores y como debían ir situados en el mando para que el manejo del vehículo fuera lo más ergonómico posible.

Para evitar que los conmutadores de mando se movieran de su posición, se aprovechó el hecho de que las arandelas que incorporaban estos tenían un saliente y se realizó en la caja, en la posición correcta de

los conmutadores, dos hendiduras en las cuales irían situados estos dos salientes, tal y como se puede observar en la figura 23. Con esto se bloquea la posición de los conmutadores, que no podrán variar su posición a no ser que se aflojen a propósito.



*Figura 23. Fijación posición conmutadores de mando*

El cableado fue soldado a los conmutadores de mando antes de introducir y colocar en su posición a estos en la caja estanca. Una vez soldado todo el cableado en la posición correcta, se procedió a montar la caja de mando. Se deja cable de sobra dentro del mando para que, en caso de que se dé un tirón al cable, este no tire de los conmutadores, evitándose así problemas.



*Figura 24. Interior mando vehículo*

### 6.2.5 Construcción caja de los controladores de arranque y cableado

Todo el sistema de control de los motores, y del vehículo en si está contenido en una caja que se sitúa en el espacio que queda entre los dos propulsores. Se decidió esta ubicación debido a que en esta posición se podía acceder a la caja con mucha facilidad y, al estar dentro de la estructura, esta quedaba protegida contra impactos.

Para la construcción de esta caja se ha partido de una caja para ICP con carril DIN en su interior. Como la tapa de la caja no se puede poner con los controladores de arranque fijados en el carril DIN, se procede a ampliar esta. Esta ampliación se hace mediante la construcción de una estructura utilizando unos paneles de plástico, los cuales se han unido entre sí mediante plástico termofusible.

Esta estructura de ampliación tiene la medida justa para que entren los controladores de arranque fijados en el carril DIN dentro de la caja y se pueda poner la tapa.

En el hueco donde iban situados los tornillos que fijaban la tapa a la caja, se han colocado unos espárragos. Con esto se consigue unir la caja ICP, la estructura de plástico construida para dar espacio a los controladores de arranque y, se consigue poner y fijar la tapa para cerrar esta caja.



*Figura 25. Caja controladores de arranque*

Con la idea de permitir que la caja quedara sujeta la caja en su posición, pero que la extracción de esta de su posición no fuera complicada, se instalaron 2 imanes, uno a cada lado de la caja, que permiten que esta se mantenga en su sitio, y en caso de ser necesario, hacen muy fácil su extracción para llevar a cabo labores de mantenimiento o intervenir en caso de avería.

Además de lo explicado anteriormente, en un lateral de la caja está situado el interruptor que proporciona alimentación a los frenos de los motores para des-frenarlos, y también proporciona alimentación a los dos conmutadores del mando.





*Figura 26. Imanes de sujeción*

Al estar este interruptor formado por dos conmutadores de palanca, se construyó una pieza de plástico para unir las dos palancas de los interruptores, siguiendo la misma idea que se aplica en algunos interruptores magnetotérmicos de 2 y más polos, para que los dos conmutadores actúen a la vez.



*Figura 27. Pieza de plástico fabricada*



*Figura 28. Conmutador de alimentación finalizado*

Al igual que se hizo con los conmutadores de mando, en este caso también se hizo un rebaje en la caja de los controladores, para fijar la posición de los conmutadores de arranque.

#### **6.2.6 Cableado del conjunto**

Tras tener todas las partes construidas y, el esquema eléctrico del control del vehículo ya realizado, se procede a realizar el cableado eléctrico en el vehículo. El diseño del esquema eléctrico de control está explicado en el capítulo 4.1 de este TFG.

Se consideró la caja de los controladores de arranque como centro del sistema eléctrico. A esta caja llega la alimentación del generador que alimenta a los controladores de arranque y, de esta caja sale la alimentación a los propulsores, sus frenos, y al mando de control.

Al haber diseñado todo el generador con la premisa de permitir un rápido y fácil mantenimiento, se dejó cableado suficiente de la caja a todos los elementos, para facilitar la extracción de esta en caso de que fuera necesario.

Así, el cableado de los motores entraba a la caja por el lado opuesto al que estaba situado el motor, formando el cableado una cruz. Con este sistema se consigue que cuando la caja está en su sitio, el cableado no se vaya arrastrando por el suelo y se pueda enganchar, al quedar este recogido.

Todos los cables que se encuentran en el interior de esta caja están marcados para identificarlos. Dentro de esta caja además se incluye una copia del plano del esquema eléctrico para que el operario que este manejando el equipo sepa identificar en todo momento que elementos lo componen y como están conectados entre ellos.

A continuación, se muestra el esquema eléctrico de control del vehículo:

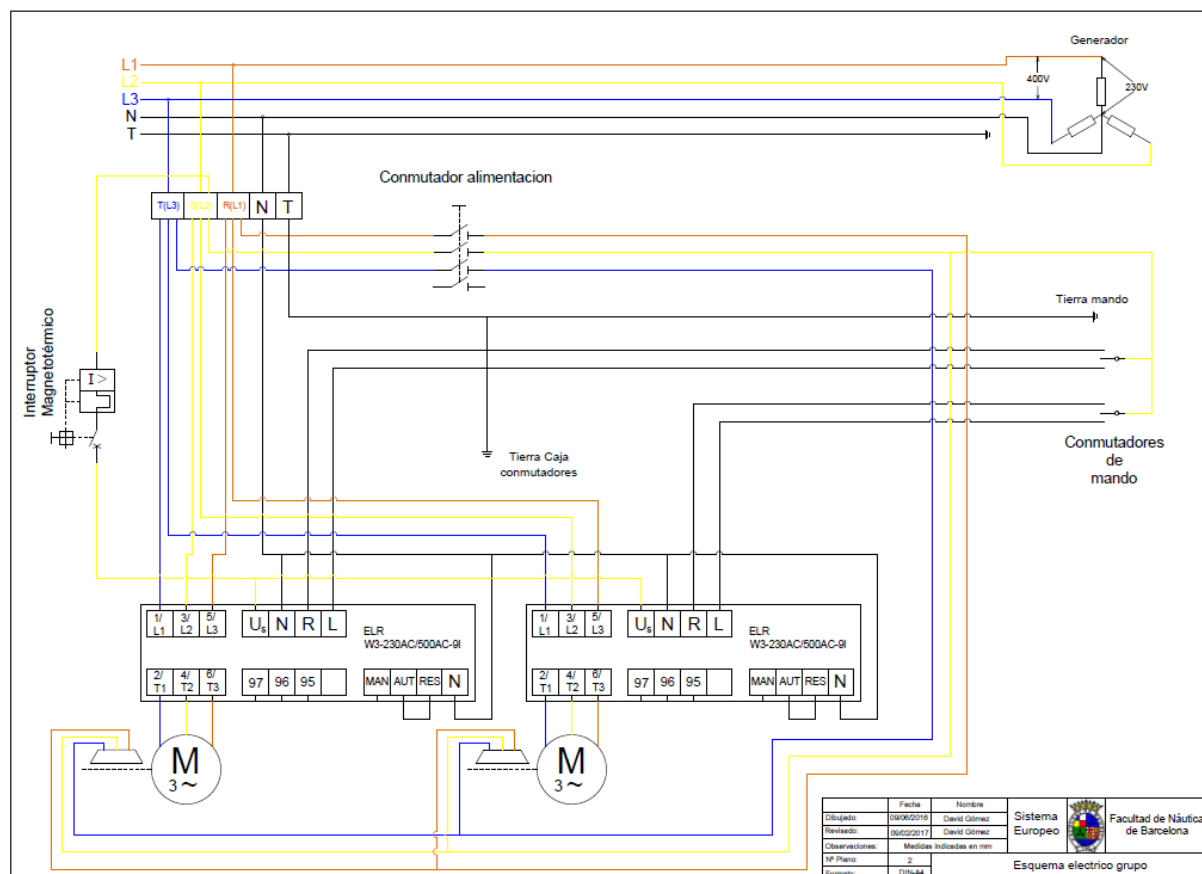


Figura 29. Esquema eléctrico

La conexión de los conmutadores al cableado se hizo mediante soldadura con estaño, protegiendo además esta soldadura con una funda termo-retráctil.



*Figura 30. Soldadura cableado conmutadores*

Los cables que van al exterior de la caja. están atados a esta justo en el punto en el que entran. Esto se ha hecho para proteger al equipo de dentro de la caja ante un tirón del cable. En caso de sufrir un tirón cualquier cable, o de que cualquier cable se quede enganchado, será la caja quien absorba las fuerzas, no el equipo de dentro de la caja.

El esquema eléctrico del sistema de control, se encuentra en la carpeta de anexos adjunta a este trabajo y corresponden al archivo “Anexo 3”.

## Capítulo 7. Ensayos

Durante la realización de este TFG se han realizado diversos ensayos sobre el conjunto de elementos que forman el vehículo construido finalmente.

### 7.1 Primer ensayo

En este ensayo se contó con la colaboración del tutor de este TFG, Ricard Bosch Tous.

En este ensayo, se buscaba estudiar los motores eléctricos que se había decidido que iban a ser los propulsores del grupo. En este primer ensayo se utilizó un motor de las dos unidades de las que se disponía y que se han utilizado finalmente en la construcción del grupo, y se estudió su funcionamiento tanto en sentido horario, como en sentido anti-horario.

Este motor en el momento del ensayo estaba conectado en triángulo. El haber realizado este ensayo sobre este motor ha sido la causa de que tanto la otra unidad de motor como el generador se conectaran a posteriori en triángulo también.

Durante este ensayo los datos que se buscaban saber eran la intensidad nominal que consumía el motor cuando funcionaba sin carga, el valor de la intensidad consumida por el motor durante el arranque de este sin carga, la velocidad de giro a la salida del reductor del motor y, la tensión a la cual el freno del motor dejaba de actuar sobre el mismo.

Con el fin de obtener dichos valores, se conectó el motor al circuito que se puede ver en la siguiente imagen, en el cual se encuentran integrados los diferentes elementos para obtener los datos.



Figura 31. Primer ensayo

El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Escola Técnica Superior d'enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), en adelante laboratorio de la ETSEIB.

Las medidas se tomaron con una pinza amperométrica, la cual permitía almacenar en su memoria el valor más elevado que registrará en la medición. Durante el ensayo se observó que la precisión de la pinza amperométrica no era la suficiente como para observar con claridad los picos de arranque de los motores ya que, los valores que almacenaba como valores de intensidad máximos en las distintas mediciones que se realizaron, diferían bastante entre ellos siendo el valor menor de 9A y el mayor de 201,6A.

Los resultados de este ensayo se muestran a continuación:

Sentido horario						
Intensidad arranque (A)		Intensidad arranque media		Intensidad régimen permanente (A)		V
$\Delta$	$\gamma$	$\Delta$	$\gamma$	$\Delta$	$\gamma$	$\Delta$
47,9	27,7	23,18	13,38	1,9	1,1	244
9	5,2					
12,3	7,1					
23,5	13,6					

Sentido horario									
Intensidad arranque (A)		Intensidad arranque media		Intensidad régimen permanente (A)		V	Pbuit (W)	Qbuit (VAr)	rpm
$\Delta$	$\gamma$	$\Delta$	$\gamma$	$\Delta$	$\gamma$	$\Delta$			
83	47,9	142,3	82,2	1,9	1,1	244	240	960	38
201,6	116,4								

Tabla 7. Resultados primer ensayo (I)

También se llevó a cabo un ensayo para medir cual el consumo de los motores justo en el instante que empiezan a girar, sin carga.

Sentido Anti horario (ratea)						
Valor	Intensidad (A)		V	Pbuit (W)	Qbuit (VAr)	rpm
	$\Delta$	$\gamma$				
Real medido	2,8	1,62	100	410	380	37
Estimación	6,44	3,72	230	943	874	-
Sentido Anti horario (No ratea)						
Valor	Intensidad (A)		V	Pbuit (W)	Qbuit (VAr)	rpm
	$\Delta$	$\gamma$				
Real medido	0,6	0,35	150	100	250	37
Estimación	0,92	0,53	230	153,3	383,3	-

Tabla 8. Resultados primer ensayo (II)

Los datos tomados en este ensayo, se encuentran en la carpeta de anexos adjunta a este trabajo y corresponden al archivo "Anexo 4".

## 7.2 Segundo ensayo

Este ensayo se llevó a cabo con la otra unidad de motor eléctrico, que estaba conectado en estrella.

En este ensayo se contó con la ayuda y colaboración de Albert Fernández Bladé, que por aquel entonces estaba realizando su proyecto de final de licenciatura.

En este ensayo únicamente se realizó una sencilla conexión y operación de este segundo motor usando un controlador de arranque.

El principal objetivo de este ensayo era el de conocer el funcionamiento de los controladores de arranque, su configuración y cómo se debían conectar tanto los contactores, como los motores a estos.

## 7.3 Tercer ensayo

En este tercer ensayo, se realizó la medición el par de fuerza que podían entregar los propulsores en el momento del arranque. Se pensaba comparar los resultados obtenidos de este ensayo con los resultados que se obtendrían una vez el vehículo estuviera construido y se hicieran mediciones sobre él.

En esta prueba únicamente se realizó el ensayo a un motor. Además, el motor y el freno mecánico de este se conectaron a la misma fuente de alimentación. Antes de empezar el ensayo en sí, se procedió a medir el consumo del freno del motor, este valor fue de 0,1A a 230V.

Para realizar esta medición, al no disponerse de un banco sobre el cual medir la fuerza que ejercían los motores, se procedió a calcular el valor de esta fuerza de la siguiente manera: Se conectó el motor derecho del vehículo a la salida del variador de tensión de una de las mesas de ensayos del laboratorio de industriales. Se puso un sargento en la rueda del motor de este ensayo y, en el extremo de este sargento se instaló un dinamómetro.

Mediante esta instalación se midió el momento que ejercía el motor en el momento de arranque (rotor bloqueado) a diferentes valores de intensidad consumida por este. Únicamente se realizó esta medición para dos valores de intensidad, 2 y 3 Amperes.

Con los resultados obtenidos para estas mediciones, se procedió a realizar una interpolación para estimar cual sería el par motor que entregarían los motores en el momento de arranque alimentados a 230V. Hay que recordar que en el momento de este ensayo los motores seguían conectados en triángulo.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en esta primera parte del ensayo:

Valor	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Distancia al eje (m)	Fuerza (N)	Momento (N·m)
Real medido	2	85	0,3	49,05	14,715
Real medido	3	118	0,3	78,48	23,544

Tabla 9. Resultados tercer ensayo (I)

Con estos datos, se procedió a calcular el valor estimado de:

- Intensidad consumida por el motor en el momento de arranque a 230V
- Fuerza que se mediría en el extremo del sargento en el momento de arranque a 230V
- Momento de giro a la salida del reductor en el momento de arranque a 230V

Para calcular estos datos, se realizó una interpolación lineal tal y como se ha explicado anteriormente.

Partiendo de la fórmula para realizar interpolaciones lineales:

$$(y - y_1) = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \times (y_2 - y_1)$$

Se adaptó esta para nuestro propósito:

Para calcular una estimación de la intensidad consumida en el momento de arranque:

$$I_{\text{arranque}} = \frac{(3A - 2A) \times (230V - 85V)}{118V - 85V} + 2A$$

$$I_{\text{arranque}} = 6,39 A$$

Para calcular una estimación del par entregado en el momento de arranque:

$$F_{\text{arranque}} = \frac{(8kp - 5kp) \times (6,39A - 2A)}{3A - 2A} + 5$$

$$F_{\text{arranque}} = 18,18 kp = 178,36N$$

Tras realizar las interpolaciones, se procedió a calcular el par que se entregaba a la salida del reductor en todos los casos. Los resultados de estos cálculos se muestran en la siguiente tabla:

Valor	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Distancia al eje (m)	Fuerza (N)	Momento (N·m)
Estimado Δ	6,39	230	0,3	178,36	53,51
Estimado Y	6,67	400	0,3	329,97	98,99

Tabla 10. Resultados tercer ensayo (II)

De esta tabla obtenemos que el máximo valor de par a la salida del reductor cuando el motor esté alimentado a 230V será de 53,51 Nm. Si comparamos este valor con los 76,518 Nm que se indican en la placa del reductor del motor, vemos que el valor estima es inferior al que se indica en la placa del reductor.



Se han calculado también los datos correspondientes a una tensión de alimentación de 400V. En este caso el valor obtenido ha sido de 98,99 Nm. Si comparamos este valor con los 76,518 Nm que se indican en la placa del reductor del motor, vemos que el valor estima es superior al que se indica en la placa del reductor.

Otro dato a destacar de la tabla es la intensidad que se calcula consumirá el propulsor en el momento del arranque alimentado a 230V, esta será de 6,39 A conectado en triángulo, lo que viene siendo una intensidad equivalente a 3,36 veces la intensidad nominal del propulsor, intensidad nominal que fue medida en el primer ensayo de este TFG.

En el caso del cálculo realizado para una tensión de 400V, el valor obtenido es de 11,55 A, este valor se ha de dividir entre raíz de 3 para calcular el valor equivalente en conexión en triángulo. Este valor de intensidad es 6,67 A, tal y como se muestra en la tabla 11. Este valor equivale a 3,5 veces la intensidad nominal.

Viendo los datos obtenidos en el primer ensayo de este TFG respecto a las intensidades que se observaron en el momento de arranque del motor sin carga, el dato obtenido en este ensayo para 230V se puede considerar cómo un valor que se acerca bastante a la realidad, aun siendo este un valor inferior a todos los valores obtenido en el primer ensayo.

Se observa que los valores calculados en este ensayo referentes a la intensidad en el momento de arranque están por debajo de los que se midieron en el primer ensayo, lo que parece indicar que puede ser que la fuerza de los propulsores a la salida del reductor también pudiera ser mayor a la calculada en este ensayo.

Los datos y cálculos de este ensayo, se encuentran en la carpeta de anexos adjunta a este trabajo y corresponden al archivo "Anexo 5".

## **7.4 Cuarto ensayo**

Este cuarto ensayo se llevó a cabo una vez que se solucionó la problemática que causaba que los controladores de arranque no se conectasen y que causó la destrucción de uno de ellos.

En este ensayo se pretendía comprobar que el funcionamiento y la operación de todo el vehículo era el correcto.

Lo primero que se observó es que había un error de conexión en el sistema de control. Los conmutadores no accionaban al motor que se suponía debían controlar y, uno de estos motores no giraba en la dirección en la que se le indicaba.

En cuanto al resto de elementos, se constató en este ensayo que todos ellos funcionaban correctamente. Las ruedas tenían tracción suficiente para mover el conjunto haciendo el operario de resistencia al avance, los motores funcionaban los dos correctamente y giraban a la misma velocidad, el interruptor que controla la alimentación del mando y de los frenos de los motores realiza correctamente su función y el generador soporta sin problemas los arranques continuos de los dos motores a la vez.

Tras esta primera parte de la prueba, se procedió a conectar los conmutadores con su controlador de arranque correspondiente y, se observó que se habían intercambiado las fases R y T del motor que giraba en el sentido contrario al que se suponía que debería hacerlo, lo cual también fue solucionado.



Al final de este ensayo, el vehículo estaba funcionando tal y como se había diseñado.

Tras esto se procedió a calcular la velocidad del vehículo sin carga, para ello se marcó en el suelo dos marcas, separadas 3 metros la una de la otra, y se midió el tiempo que el vehículo tardaba en recorrer esta distancia. Tras varias pasadas, el tiempo medio obtenido fue de 8,8 segundos. Mediante la fórmula de velocidad es igual a espacio entre tiempo, se procede a obtener la velocidad que alcanza el vehículo.

$$V = \frac{d}{t} = \frac{3}{8,8} = 0,34 \text{ m/s} = 1,23 \text{ m/s}$$

Como se puede ver, esta velocidad es inferior al valor de la velocidad que se había calculado de forma teórica en el capítulo 4 de este TFG.

## 7.5 Quinto ensayo

En este quinto ensayo, se procedió a obtener el valor de la máxima fuerza de arrastre que el grupo podía ejercer antes de que las ruedas patinasen.

Tras ver en el cuarto ensayo que, si el operario hacía de resistencia al avance del grupo, este lo podía soportar y, disponiendo en el laboratorio del SEAT 600 eléctrico del profesor Ricard Bosch, se decidió usar este como resistencia tras preguntarnos junto a él si el vehículo objeto de este TFG sería capaz de arrastrarlo o no.

Los datos tomados en este ensayo, y los cálculos realizados se encuentran en la carpeta de anexos adjunta a este trabajo y corresponden al archivo “Anexo 6”.

### 7.5.1 Máxima fuerza de arrastre

La primera prueba se realizó atando con una cincha el vehículo al SEAT 600, estando este con el freno de mano puesto. En esta prueba se buscaba obtener el valor de fuerza de arrastre que el vehículo podía ejercer antes de que las ruedas de este perdiesen adherencia. El Valor máximo medido fue de 35kp, que equivalen a 343,23 N.



*Figura 32. Prueba de arrastre SEAT 600 eléctrico*

Con los datos obtenidos de este ensayo se procede a comprobar los datos calculados en el ensayo nº3 de este TFG.

Si consideramos que los dos propulsores en el momento de tirar del coche están entregando la máxima potencia (0.37kW), que los dos entregan la misma potencia y tiene la misma tracción, obtenemos que cada motor genera un empuje de 171,62N.

Habiendo obtenido el valor de la fuerza que ejerce cada propulsor del vehículo, procedemos a calcular cual es el valor de la fuerza que cada propulsor podría ejercer si las ruedas que se han instalado en los propulsores no patinasen.

En el ensayo llevado a cabo tirando del SEAT 600, no se tomó la medida de las rpm a las que giraban los motores, pero se sabe del primer ensayo de este TFG que la velocidad a la salida del reductor sin carga es de 37/38 rpm. Según se indica en la placa de características del reductor la velocidad de salida es de 34,5 rpm. Al no estar trabajando los dos propulsores sin carga, se toma como valor las 34,5 rpm indicadas en la placa de características del reductor.

Durante este ensayo, ya que los propulsores consumen corriente nominal, se puede afirmar que se está entregando la potencia nominal durante este ensayo de tiro. Con esta afirmación, se puede deducir la fuerza que está entregando el vehículo en ese momento. Se utiliza la fórmula del cálculo del momento de fuerza para saber la fuerza que cada propulsor puede ejercer.

$$M = F \times d$$

Para ello, se toma el valor de par a la salida del reductor que está indicado en la placa e características del reductor. Este valor se multiplica por la distancia que hay desde el eje del reductor al punto desde donde se aplicará la fuerza, que será el extremo de la rueda. Si las ruedas tienen un diámetro de 20cm, esta distancia será de 0,1m. Con esto, obtenemos que la fuerza máxima de empuje que podría ejercer cada propulsor sería de:

$$F_{propulsor} = \frac{76,518}{0,1} = 765,18 \text{ N}$$

$$F_{empuje \text{ total}} = 1530,36 \text{ N}$$

Según los cálculos anteriores, cada propulsor es capaz de generar una fuerza de empuje de 765,18 N con la configuración actual, el problema con el que nos encontramos es que las ruedas son incapaces de transmitir toda esta fuerza correctamente.

$$\eta_{Rueda} = \frac{343,23}{1530,36} \times 100 = 22,43\%$$

Como se ve, con las ruedas instaladas actualmente en el vehículo, únicamente se puede ejercer un 22,43% del total de la fuerza que entregan los dos propulsores. A pesar este rendimiento muy bajo, servirá de referencia para trabajos posteriores.

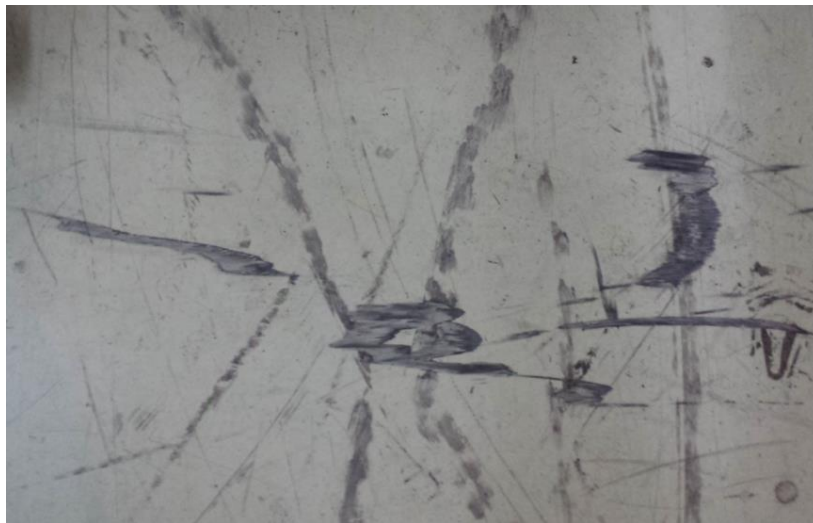
Que el rendimiento tenga este valor, ocasiona que no se pueda aprovechar la principal ventaja del uso de propulsores eléctricos que, en el momento de arranque al entrar en régimen transitorio, pueden entregar hasta 3 veces el par que entregan cuando funcionan en régimen nominal debido a que las ruedas, en condiciones de alta exigencia de tracción, patinarán.

### 7.5.2 Prueba de arrastre SEAT 600 eléctrico

Tras esta prueba se retiró el freno de mano del coche para ver si el vehículo era capaz o no de mover al coche eléctrico.

Se consiguió desplazar el vehículo aproximadamente un metro antes de que las ruedas comenzasen a patinar. Destacar que las ruedas del SEAT 600 estaban deshinchadas en el momento de este ensayo. Si estas hubiesen estado con una presión correcta seguramente el vehículo hubiera podido moverlo sin mayor problema.

En las siguientes imágenes se pueden observar las marcas dejadas en el suelo por las ruedas del vehículo, tal y como se puede ver en la figura 33.



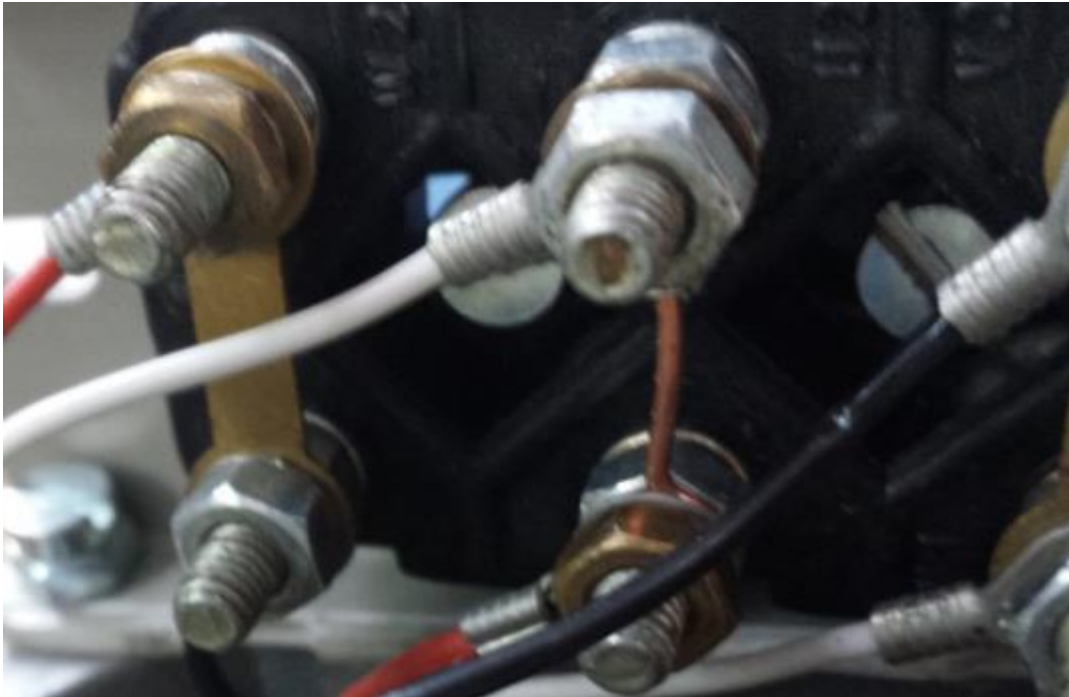
*Figura 33. Marcas ruedas*

## Capítulo 8. Modificaciones

Al tratarse este TFG de un trabajo práctico, durante la realización de este se han tenido que ir haciendo diversas modificaciones a los sucesivos diseños que se han ido realizando y, según se iba construyendo el prototipo también se ha tenido que ir realizando modificaciones sobre la marcha.

### 8.1 Ampliación cajas de bornes y placas de bornes para la alimentación de los frenos de los motores

En primer lugar, durante la realización de la aplicación de la caja de la lámina de bornes de los motores, en la lámina de los frenos de un motor faltaba la chapa de latón para hacer el conexionado de las bobinas del freno. Para solventar esta falta se optó por la solución más rápida, que era mediante un cable rígido de cobre. Se cortó un tramo de un cable de cobre rígido, se le dio forma y se usó como lámina entre los dos bornes de la paca.



*Figura 34. Modificación chapa placa de bornes*

Tras finalizar la modificación de la caja de bornes de los motores, se observó que, en los dos motores los bornes de la placa de bornes del motor y del freno quedaban excesivamente juntos, para solventar esto se procedió a recortar los bornes de la placa de bornes de alimentación de los frenos, ya que esta era la placa más fácil de extraer para modificarla en los dos motores.



*Figura 35. Modificación bornes*

## 8.2 Modificación de la posición del motor derecho

Como se ha explicado anteriormente, para que las cajas de las placas de bornes quedarán en el centro del conjunto, protegidas de impactos, se tuvo que proceder a modificar la posición de un motor respecto a su reductor, girando el motor 90°.

A la hora de diseñar los ejes, se tomaron las medidas de referencia de un solo motor, ya que los dos eran iguales. Al tener los ejes ya mecanizado y proceder a montarlos en el vehículo, se observó que si bien, sobre el motor que se habían tomado las medidas la rueda quedaba donde se quería, y esta no contactaba con ninguna pieza del conjunto, esto no era así para el otro motor, que además era el que se había girado.



*Figura 36. Problema motor derecho*



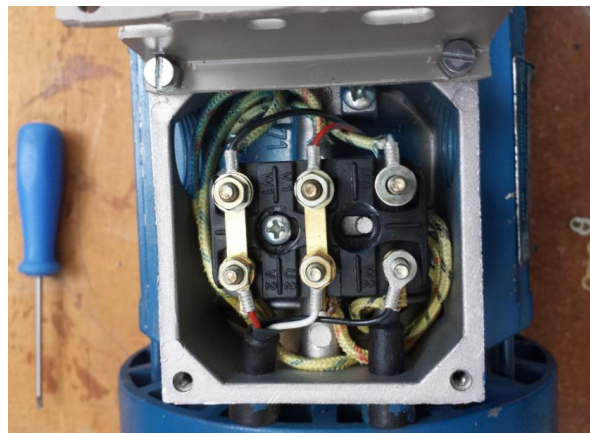
Para solventar esta problemática, primero se pensó en recortar la parte de la unión motor-reductor que nos estaba ocasionando problemas, para así evitar tener que diseñar tener mecanizar otro eje. Finalmente se optó por añadir una arandela al eje a modo de separador. Con esto, el problema quedó solventado.



*Figura 37. Separador Rueda*

### **8.3 Cambio de tipo de conexión del generador y los motores**

Debido a que el primer motor del que se dispuso, y sobre el que se realizaron pruebas, estaba conectado en triángulo, a la hora de disponer de la segunda unidad de motor eléctrico, y ver que estaba en estrella, se procedió a modificar la conexión de este a triángulo.

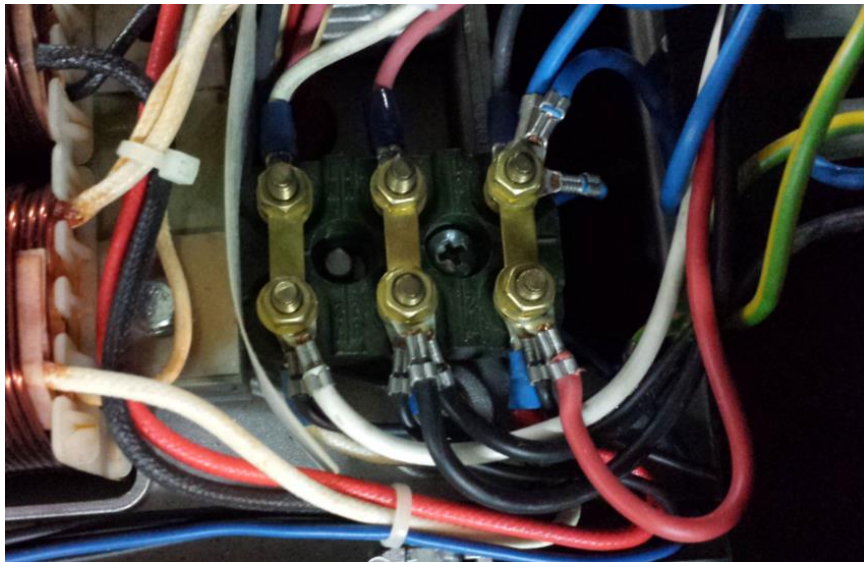


*Figura 38. Cambio conexión motor*

Esto implicó que, el generador utilizado, que estaba conectado en estrella, se pasase a conectar en triángulo. Tras hacer esta modificación, antes de proceder a conectar todo el sistema de control del vehículo al generador se arrancó este para verificar los valores de tensión que estaba entregando a la salida.

Al poner el grupo en marcha, el motor de este parecía no tener la suficiente fuerza para mover al alternador, y el grupo completo vibraba exageradamente. Tras observar este comportamiento se procedió a parar el grupo generador y verificar que el cambio de estrella a triángulo se había realizado correctamente.

Al verificar el conexionado de la placa de bornes, se descubrió que la conexión de las 3 bobinas del alternador estaba mal realizada en la placa de bornes, quedando en el caso de que el generador estuviera en triángulo la fase alimentada por los cables de color blanco cortocircuitada, como se puede observar en la figura 39.



*Figura 39. Fase cortocircuitada*

Una vez solventado este problema y tras verificar que el grupo entregaba la tensión correcta, se procedió a conectar a la alimentación del grupo todo el sistema de control. Nos encontramos con que el sistema de control no funciona, los controladores de arranque no se conectaban.

Para certificar que los controladores de arranque no se habían dañado, se extrajo uno de la caja y se verificó por separado en las mesas del laboratorio de la ETSEIB, que disponen de regulador de tensión y donde observamos que el controlador de arranque se conecta antes de llegar a 230V de tensión.

Se revisa el manual de los controladores de arranque y en él aparece que entre  $U_s$  y N de la alimentación del sistema de control del controlador de arranque, tiene que haber una diferencia de tensión entre 85 y 253 V. Esta información aparece en las tablas 5 y 6 de este TFG.

En el tipo de conexión en triángulo, en la que estaba conectado el grupo en ese momento, no había neutro y, al no disponer del manual del alternador, no se sabía con certeza de que bornes se debían conectar los controladores de arranque.

Se decidió conectar el controlador de arranque a la fase 1 y 2, que pertenecen a los bornes U2 y V2 de la placa de bornes del alternador, debido a que se había medido que entre estos dos bornes había una tensión de 230V, con el generador del grupo conectado. El controlador de arranque que quedaba conectado al sistema, el otro se desconectó para verificarlo sobre una de las mesas del laboratorio de la ETSEIB, tampoco arrancó en este caso.

Para descartar que fuera problema del grupo, se decidió probar si el controlador de arranque arrancaba alimentado directamente de la red eléctrica del laboratorio de la ETSEIB. Al proceder a probar el controlador de arranque que aún está conectado en el sistema de control del vehículo con la red eléctrica del laboratorio de la ETSEIB, este controlador de arranque explotó.

La causa de que este controlador de arranque explotara, es que en la conexión trifásica a la que se conectó, la tensión entre fases es de 400V. Esta tensión fue medida antes de conectar el sistema de control del vehículo a la red eléctrica y se dio cuenta del error una vez ya era demasiado tarde. Además, en esta etapa del TFG no se había instalado ninguna protección eléctrica para el control de los controladores de arranque.

Tras esto, se tomó la decisión de cambiar tanto la conexión del grupo como la de los dos propulsores a estrella. Con este tipo de conexión, a priori, los controladores de arranque deberían de funcionar sin ningún problema. Tras cambiar el generador de triángulo a estrella, se procedió a verificar que el controlador de arranque funcionaba. Para esta prueba, se añadió entre la fase S del generador y  $U_s$  un interruptor magnetotérmico de 4 polos conectado en serie a modo de protección.

Tras verificar que el controlador de arranque, se procedió a desmontar el generador de encima de la estructura de los motores y a extraer los motores eléctricos del conjunto con el fin de facilitar la tarea de cambio de conexión de estos.

#### **8.4 Protección controladores de arranque**

A raíz de la rotura de un controlador de arranque, al conectarlo a una tensión de 400V se decidió añadir un interruptor magnetotérmico entre el conector  $U_s$  del controlador de arranque y la fase S del alternador de la que este se alimentaba.

Esta protección deberá impedir que ninguno de los dos controladores de arranque resulte dañado si, por error, se conecta el sistema de control del vehículo a una fuente de energía con una tensión superior a los 253V que indica el fabricante de los controladores de arranque como valor de tensión máxima de alimentación para el control de estos.



## Capítulo 9. Futuras líneas desarrollo.

Una vez finalizado este proyecto, se pueden establecer varias vías de desarrollo futuro. Las más significativas se consideran en este capítulo:

Líneas de desarrollo a partir del vehículo actual:

- Instalar todos los elementos implicados en la propulsión y el control del vehículo en otro tipo de estructura que sí que permitiese extraer embarcaciones del agua. Cómo se había pensado inicialmente.
- Instalar todos los elementos implicados en la propulsión y el control del vehículo en una embarcación. En lugar de instalar ejes con rueda en los propulsores, instalar ejes con hélices para así poder propulsar una embarcación con un sistema híbrido.

Mejoras del vehículo actual

- Añadir a la estructura actual del vehículo, una serie de apoyos para que el operario pueda usar su propio peso como ayuda a la tracción en el momento en el que las ruedas que lleva el vehículo diseñado en este proyecto empezasen a patinar.
- Añadir ruedas con mayor poder de tracción
- Añadir fotos a la estructura del vehículo para trabajos nocturnos
- Instalar motores de la misma potencia que los actuales, pero monofásicos y sin frenos incorporados, asociados estos motores a una reducción mayor.
- En relación con el punto anterior, instalar un grupo electrógeno monofásico más compacto.
- Desarrollo de un sistema de control más sofisticado, mediante el uso de un joystick.
- Modificación cableado alimentación controladores de arranque y motores. Añadir conectores para estos elementos para facilitar aún más las tareas de mantenimiento y de detección de averías

## Capítulo 10. Vehículo construido.

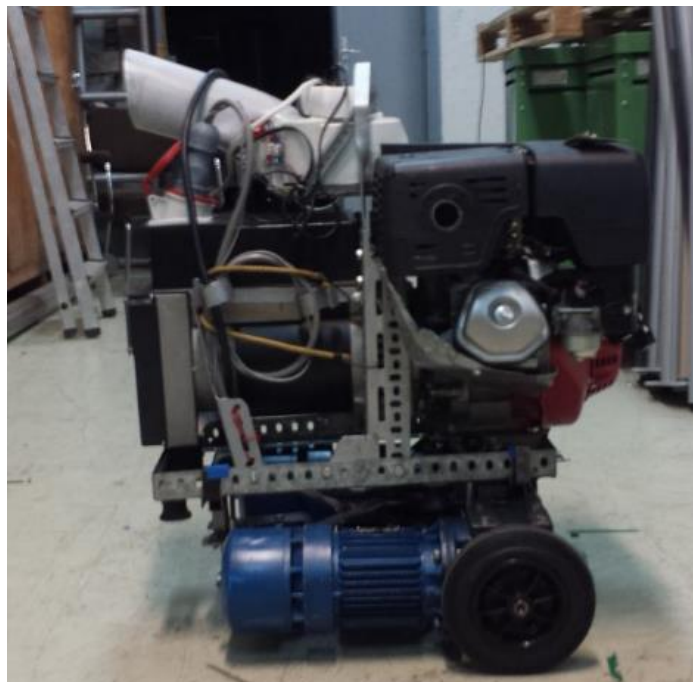
En este capítulo se vienen a detallar todas las características del vehículo construido en este TFG. En esta memoria del TFG, cuando se hace referencia a alguna parte del vehículo, como por ejemplo los motores, esta referencia se hace como si se estuviera mirando al vehículo desde la parte frontal de este, que es donde están las ruedas propulsoras.



*Figura 40. Vista de referencia vehículo*



*Figura 41. Vista lateral derecha del vehículo*



*Figura 42. Vista lateral izquierda del vehículo*

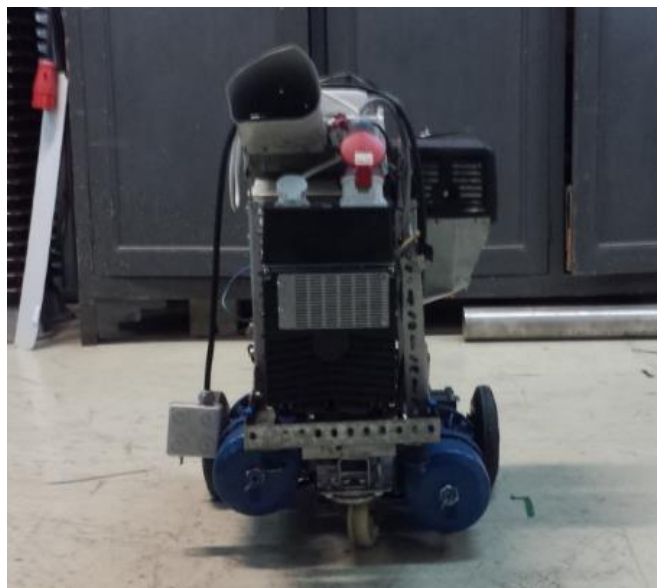


Figura 43. Vista Trasera del vehículo

En la siguiente tabla se indican los datos característicos del vehículo construido.

Grupo electrógeno autopropulsado de 5kVA para trabajos de mantenimiento	
Masa en seco	114 kg
Longitud	720 mm
Ancho	590 mm
Altura	800 mm
Diámetro ruedas	200 mm
Ancho Ruedas propulsoras	50 mm
Ancho zona de contacto ruedas propulsoras	25 mm
Diámetro rueda loca	90 mm
Ancho Rueda loca	40 mm
Velocidad máxima	0,34 m/s
Máxima fuerza de empuje	171,262 N
Consumo nominar por propulsor (Y)	1,1 A
Consumo nominar por propulsor ( $\Delta$ )	1,9 A

Tabla 11. Características vehículo construido

# Capítulo 11. Errores

En este capítulo, se va a proceder a explicar los errores que se han cometido durante el proceso de diseño y construcción del vehículo objeto de este proyecto por mi parte.

Durante todo el transcurso de la realización de este TFG, se ha determinado que ciertos aspectos tanto de diseño como de construcción se podrían haber abordado de formas distintas a las formas en las que se han abordado finalmente. Esto ha sido causado debido a mi falta de experiencia en procesos de diseño y de métodos y procesos de construcción utilizados durante todo el transcurso del TFG lo que ha provocado que, en algunas ocasiones se haya tenido que volver hacia atrás perdiendo muchas horas de trabajo por el camino.

Una vez terminado este trabajo, destaco los siguientes errores como los errores que más consecuencias han ocasionado desde mi punto de vista se han cometido durante todo el proceso de diseño y construcción del vehículo:

- Se debería de haber diseñado y construido en primer lugar de todo el sistema de control del vehículo. Desde el principio del TFG se ha tenido a disposición un contactor y un motor. El no haber hecho esto al principio ha causado que no se haya detectado a tiempo el error que ha sido conectar tanto los motores cómo el generador en triangulo en lugar de en estrella, además de que todas las modificaciones llevadas a cabo sobre este sistema, se habrían hecho primero de todo, con mucha más rapidez, facilidad y espacio del que se ha dispuesto al haber tenido que hacer estas modificaciones con todo el vehículo montado. En diversas ocasiones se han tenido que desmontar partes del vehículo que ya estaban montadas debido a que no se tenía espacio para acceder a las conexiones eléctricas.
- Se debería de haber pensado desde un principio que tipo de conexión era la más adecuada para los motores y generador, si estrella o triangulo. Primero de todo por el sistema de control de los controladores de arranque, que conectados en estrella tal y como están conectados en el momento de finalizar este trabajo, estos reciben 230V y, si se conecta el sistema a un grupo con conexión triángulo, el máximo valor de tensión que recibirán será de 230V y estos no resultaran dañados, incluso en el caso de que no conecten como ha pasado en este TFG. Por otra parte, no pasa nada por conectar estos motores conectados en estrella a un grupo con conexión triángulo, ya que al estar alimentados a 230V, únicamente entregarán menos potencia que si estuvieran conectados a 400V. En el caso contrario, estos motores se dañarían.

Centrándonos en el tipo de conexión de alternadores y motores, el no haber conectado desde un principio todos estos elementos en estrella y haberlo hecho en triángulo, ha sido la causa de que la primera prueba realizada para caracterizar los motores no sea representativa para este TFG, de perder muchas horas de trabajo y de ser una de las causas de haber dañado un controlador de arranque del equipo.

Las prisas en momento puntuales por hacer que el vehículo funcionara han causado que se hayan cometido errores durante la realización de este TFG, además de haber sido también otra de las causas de haber dañado un controlador de arranque.

## Capítulo 12. Conclusiones

Cómo conclusión a este trabajo final de grado, se ha conseguido cumplir con el propósito del mismo: La construcción de un Generador autopulsado de 5kVA para trabajos de mantenimiento. En realidad, se ha comprobado que el grupo puede suministrar energía eléctrica trifásica de 50 Hz, en régimen permanente, con 5,5 kW de potencia activa y 8,5 kVA de aparente, por el dimensionado y puntos de operación de las máquinas implicadas.

En el vehículo construido en este TFG, se ha conseguido que haya quedado como una unidad lo más compacta posible, lo que ayuda a mantener la masa del conjunto en un valor bajo. El querer hacer una unidad compacta ha comportado que se haya evitado utilizar elementos como protecciones, que luego se han tenido que añadir, o conectores para la alimentación de los controladores de arranque y los motores, ya que estos ocupaban un espacio del que no se disponía fácilmente.

Con todo esto, el diseño final del vehículo ha resultado muy positivo, incluso quizá, mejor de lo esperado. Se tiene un acceso relativamente fácil y rápido a todos los elementos del conjunto, a pesar del pobre rendimiento de las ruedas utilizadas, el vehículo tiene una fuerza de tracción bastante elevada y, quizá el punto más positivo de todos es la maniobrabilidad del conjunto, que es claramente mejor de lo esperado.

Además, al tener el motor térmico del generador una potencia mayor a la consumida por los dos motores eléctricos utilizados y estar el alternador del grupo sobredimensionado, el grupo no sufre apenas variación en su velocidad de giro durante la operación del vehículo sin arrastrar ninguna carga.

Para finalizar, se han dedicado muchas horas al diseño y construcción del vehículo de este TFG, esto en algunas ocasiones ha implicado hacer sacrificios personales que, una vez terminado este TFG y, una vez visto el resultado, se puede decir que han merecido la pena. Personalmente he aprendido mucho con este TFG, que también era uno de los motivos y uno de los objetivos por los que se decidió realizar este trabajo como TFG. Como conclusión a este trabajo y a todo el periodo de tiempo que se ha dedicado a hacerlo posible, a pesar de todos los malos ratos pasado cuando las cosas no salían, volvería a realizar este TFG.

# Bibliografía

## 1. Webs:

- [1] Ayerbe industrial de motores [En línea]. [Consulta: Enero 2017].  
Disponible en: <<http://www.ayerbe.net/productos/ay-5000-h-mn-%C2%B7-manual/>>
- [2] Honda Engines [En línea]. [Consulta: Diciembre 2017].  
Disponible en: <[http://www.honda-engines-eu.com/es/engine-model-details?p\\_p\\_id=enginedetail\\_WAR\\_enginedetail&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-4&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_enginedetail\\_WAR\\_enginedetail\\_display=specifications&e=17](http://www.honda-engines-eu.com/es/engine-model-details?p_p_id=enginedetail_WAR_enginedetail&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-4&p_p_col_count=1&_enginedetail_WAR_enginedetail_display=specifications&e=17)>
- [3] M.G.M. Electric Motors [En línea]. [Consulta: Marzo 2016].  
Disponible en: <[http://www.mgmelectricmotors.com/products/BA\\_series.asp](http://www.mgmelectricmotors.com/products/BA_series.asp)>
- [4] Motores Asíncronos. WIKIPEDIA. Motors [En línea]. [Marzo 2016].  
Disponible en: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_as%C3%ADncrono](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_as%C3%ADncrono)>
- [5] Arranque de motores eléctricos de C. A. Revista Electroindustria [En línea]. [Consulta: Setiembre 2016].  
Disponible en: <<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=304>>
- [6] Grado de protección IP. Wikipedia [En línea]. [Enero 2017].  
Disponible en: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Grado\\_de\\_protecci%C3%B3n\\_IP](https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_protecci%C3%B3n_IP)>

## 2. Libros:

- [7] Pau Casals Torrens, Ricard Bosch Tous. Máquinas eléctricas: aplicaciones de ingeniería eléctrica a instalaciones navales y marinas. Prácticas. Barcelona: Edicions UPC, 2005. ISBN 9788498801996
- [8] Oriol Boix. Tecnología Eléctrica. S.L Ediciones Ceysa. Cano Pina, 2002. ISBN 9788486108236

## 3. Trabajos académicos:

- [9] Álvarez Fernández, Noelia. Análisis de diferentes procedimientos y ensayos para la determinación del rendimiento en motores de inducción trifásicos. [En línea]. Trabajo final de carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2007. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/4615>>

- [10] Bou Orench, Carles. Cap al vaixell híbrid de propulsió elèctrica. Avaluació experimental de la cadena energètica instal·lada en la barca RAS. [En línia]. Trabajo final de carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2010. Disponible en: < <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/9311>>
- [11] Peregrina Velasco, Albert. Diseño y construcción del sistema de propulsión eléctrica de un catamarán de 3,4 metros de eslora. Trabajo final de carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2007.



# Anexos.

Los anexos de este trabajo se encuentran en el fichero adjunto con el mismo "Anexos.zip. En cada apartado, se especifica que anexo va asociado a este en el caso de que haya alguno.

## Anexo 1. Guía rápida de arranque del vehículo

Para poner en funcionamiento el vehículo, seguiremos los siguientes pasos básicos.

1. Antes de arrancar el grupo electrógeno comprobar que el mando está en un lugar seguro y que el conmutador de alimentación está en la posición OFF.
2. Arrancar el grupo electrógeno:
  - a. Ponemos el generador en posición ON
  - b. Abrimos el starter
  - c. Arrancamos tirando fuerte del cabo
  - d. Una vez arrancado, cerramos el starter
3. Una vez el grupo está en marcha, proceder a mover el conmutador de alimentación a la posición ON.
4. El vehículo está listo para usarse.

A la hora de parar el vehículo, poner los conmutadores de alimentación en la posición OFF, y después proceder a poner el generador en posición OFF también.